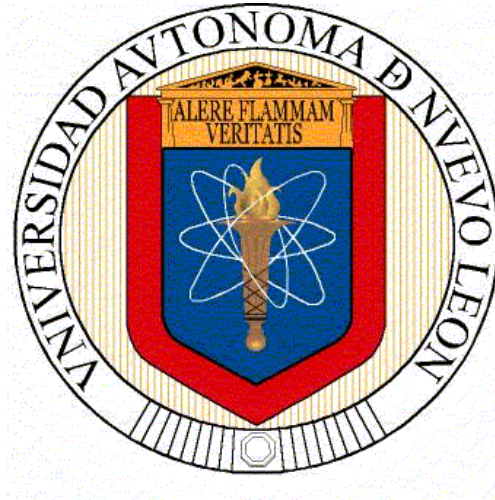


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



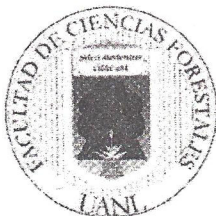
**TESIS**

**RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS SEMIÁRIDOS EN ZONAS DE  
APROVECHAMIENTO DE CALIZA A CIELO ABIERTO, EN EL  
NORESTE DE MÉXICO.**

**PRESENTA  
JOSÉ MANUEL MATA BALDERAS**

**COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE  
RECURSOS NATURALES**

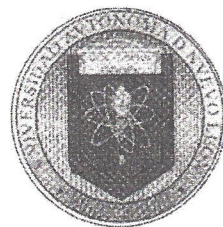
**NOVIEMBRE DE 2014**



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL



RESTAURACION DE ECOSISTEMAS SEMIARIDOS EN AREA AFECTADA POR EL  
APROVECHAMIENTO DE CALIZA A CIELO ABIERTO, EN EL NORESTE DE MEXICO

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TITULO DE:  
DOCTORADO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES

PRESENTA;

JOSE MANUEL MATA BALDERAS

COMISION DE TESIS

Dr. Eduardo Javier Treviño Garza  
Director de Tesis

  
Dr. Javier Jiménez Pérez  
Asesor  
Dr. Oscar A. Aguirre Calderón  
Asesor  
Dr. Eduardo Alanís Rodríguez  
Asesor  
Dr. Rahim Foroughbakhch-Pournavab  
Asesor Externo

Lineares, Nuevo León México

Noviembre del 2014

*Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctorado en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales, donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.*

*En C. José Manuel Mata Balderas*

*Noviembre del 2014*

## DEDICATORIA

*A mi querida esposa Ing. Jessica Jazmín Bernal Hernández, por darme todo su apoyo para la realización de esta fase importante de nuestras vidas, por su comprensión, fortaleza y sobre todo por su cariño y amor incondicional.*

*A mis padres José Manuel Mata Rodríguez y Victoria Balderas Huerta por su confianza y apoyo a lo largo de este largo camino académico. A mi hermano Ricardo Mata Balderas por sus consejos acertados y apoyo. A Mis hermanas Karla Denisse Mata Balderas, Elizabeth Mata Balderas y mi sobrina Dulce María Mata Balderas, por todos esos fines de semana que me motivaron a seguir adelante con mi proyecto de vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Durante el desarrollo de la presente investigación aprendí muchas cosas entre ellas a ser tolerante, paciente y sobre todo prudente y congruente con nuestras acciones, el realizar la tesis doctoral me otorgo un desarrollo de conocimiento y habilidades y desde luego entendí que el trabajo en equipo es de una de las virtudes más grandes del ser humano y cuando uno logra dominar esta habilidad, no existen las dificultades ni retos imposibles de cumplir.

De esta manera las siguiente líneas pretenden dejar en antecedente de la gratitud que siento por todos aquellos que fueron partícipes de este logro académico, lo cual sin duda no hubiera sido posible sin su apoyo, tratare de mencionarlos a todo esperando no omitir a ninguno.

De manera inicial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme la oportunidad mediante una beca para realizar los estudios de doctorado.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y en especial al cuerpo de profesores-investigadores que forjaron mi perfil profesional con sus conocimientos y experiencia.

Al Departamento de Silvicultura y Manejo Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales por la asesoría para el desarrollo de esta investigación.

Al comité de tesis, donde todos los integrantes de manera honesta y capaz motivaron el desarrollo de la presente investigación.

Especialmente al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por su confianza, tiempo, y amistad. Gracias por sus acertadas recomendaciones científicas, técnicas, laborales y personales a lo largo de este camino de académico.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez y Dr. Oscar A. Aguirre Calderón, por su participación en la elaboración de la investigación, su amistad y por ser parte de mi formación profesional.

Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez por su amistad y por sus acertadas recomendaciones en el ámbito científico, gracias por sus comentarios y sugerencias que mejoraron la presente investigación.

A mi asesor externo Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab por su apoyo y consejos para el desarrollo de este proyecto.

Al M.C. Miguel Ángel González Botello, Silvino Hernández Cárdenas, Ing. Elizabeth Mata Balderas, Ing. Tania Sarmiento Muñoz, Ing. Miriam Francisco Santana, Ing. Raúl Pulido Pérez, Humberto Alonso López, Lic. Lucia Vianey Bernal Hernández por su valioso apoyo para la presente tesis doctoral.

A la empresa Concesionaria Autopista Monterrey Saltillo, S.A. de C. V., por su valiosa disposición y apoyo incondicional para la ejecución de la presente investigación, en particular al Ing. María Elena Naharro López, así como al Ing. Raúl Pulido Pérez por su apoyo en el levantamiento de datos. De manera especial se agradece al proyecto CONAFOR-2006-41836 "Evaluación de los procesos de desertificación y alternativas para su reversión en áreas con diferente uso del suelo en el Estado de Nuevo León, por el apoyo brindado.

Se agradece a la empresa GESTION ESTRATEGICA Y MANEJO AMBIENTAL S.C., por su valiosa disposición y apoyo incondicional para la ejecución de la presente investigación.

Se agradece a la empresa Holcim Apasco, Planta Ramos Arizpe, por su valiosa disposición y apoyo incondicional para la ejecución de la presente investigación, en particular al Ing. Omar Vizcarra y la Lic. Karina Mora, así como también al Estudiante David Daniel Flores Valdés por su apoyo en el levantamiento de datos.

Por ultimo a todos aquellos que de manera indirecta y directa me motivaron a la culminación de este proyecto, a todos mil ¡gracias!

## **Resumen General.**

La presente investigación se desarrollo en las comunidades semiáridas del norte de México, específicamente en los estados de Nuevo León y Coahuila, comunidades vegetales que constituyen un tercio de la superficie mundial y están localizadas en zonas climáticas extremosas, en las que la productividad neta de la vegetación y su desarrollo está limitada por la disponibilidad de agua, características que vuelven vulnerable el factor vegetacional, las cuales posterior a un evento de remoción total, sea por efecto antropogénico (Aprovechamientos y/o modificación del uso del suelo) y/o natural (Incendio), provocan modificaciones estructurales y de composición de especies vegetales, las cuales de manera natural es muy poco probable restablecerlas. De esta manera la presente investigación propuso de manera inicial generar información sobre el ecosistema base (condiciones originales) previo a la afectación, con el objetivo de conocer la estructura primaria del ecosistema afectado y sus especies clave, así mismo caracterizar las pendientes, suelos y conformación del estado final del sitio modificado por las actividades de aprovechamiento, seguido de una propuesta para la rehabilitación de una zona afectada por el aprovechamiento de caliza, en una cantera propiedad de una cementera ubicada en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. Obteniendo como resultados que las acciones desarrolladas en la presente investigación favorecieron el restablecimiento de los componentes básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), los cuales son necesarios para proveer de servicios ambientales (hábitat y alimento para fauna y retención del suelo, entre otros), en ecosistemas semiáridos afectados por el aprovechamiento de materiales. En contraposición, el no desarrollar estas prácticas, ocasiona que el ecosistema afectado no se recupere por sí mismo. Por ello, es imperante la necesidad de integrar en las actividades de aprovechamiento, la conservación de material vegetal, suelo y la adecuación del relieve posterior a los cortes y/o bermas, con la finalidad de propiciar con la restauración asistida, la recuperación de los ecosistemas afectados.



## **Summary.**

The present research was developed in the semiarid communities of northern Mexico, specifically in the states of Nuevo Leon and Coahuila, plant communities that make up a third of the world's surface and that are located in extreme climatic zones in which the net productivity of vegetation and its growth are limited by water ability, features that result in a vulnerable vegetation factor, which after an event of total removal, either by anthropogenic effect (exploitation and/or modification of land use) and/or natural effect (fire), cause modifications of structural and composition of plant species, which are unlikely to be reestablish. This research proposes, initially, to generate information about the basic ecosystem (original conditions) previous to the affectation, with the aim of meeting the primary structure of the affected ecosystem and its key species, likewise to characterize the slopes, soil and conformation of the final state of the site modified by the exploitation activities, followed by a rehabilitation proposal of the affected zone by extraction of limestone in a pit, property of a cement factory located in the county of Ramos Arizpe, Coahuila. The results of the actions taken in the present work favored the reestablishment of the basic components of the plant community (structure, function and composition), which are necessary to provide environmental services (habitat and food for wildlife, soil retention, among others). Otherwise, not developing these actions may cause that the ecosystem will not recover by itself. This is why is very important to integrate in the extraction activities, the conservation of vegetal material, soil and the adaptation of the slopes after the ground cuts, in order to promote the assisted restauration, the recovery of the affected ecosystems.

## Índice

<b>I. Introducción.</b>	<b>1</b>
I.1. Hipótesis.	7
I.2. Objetivos.	7
I.3. Literatura Citada.	8
 <b>II. Diversidad y Composición Vegetal de Matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el Noreste de México.</b>	 <b>12</b>
II.1. Resumen.	13
II.2. Abstract.	13
II.3. Introduccion.	14
II.4. Materiales y Metodos.	16
II.5. Evaluación de la Vegetacion.	18
II.6. Analisis de la Información.	18
II.7. Resultados.	20
II.7.1. Parametros Ecologicos.	20
II.7.2. Caracteristicas Dasometricas.	26
II.7.3. Diversidad $\alpha$ .	27
II.7.4. Diversidad $\beta$ .	27
II.7.5. Formas vitales.	28
II.8. Discusion.	30
II.9. Literatura Citada.	32
 <b>III. Estructura y composición florística del matorral desértico rosetófilo del Noreste de México.</b>	 <b>36</b>
III.1. Resumen.	37
III.2. Abstract.	37
III.3. Introducción.	38
III.4. Materiales y Métodos.	39
III.5. Resultados.	42
III.6. Parámetros Ecológicos.	43

III.7. Discusión.	46
III.8. Conclusiones.	47
III.9. Literatura Citada.	47
 IV. Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido, afectado por el establecimiento de un banco de material, en el Noreste de México.	 52
IV.1. Resumen.	53
IV.2. Abstract.	54
IV.3. Introducción.	54
IV.4. Materiales y Métodos.	56
IV.4.1. Área de Estudio.	56
IV.4.2. Tratamiento y Análisis de la Vegetación.	57
IV.4.3. Análisis de la Información.	60
IV.5. Resultados y Discusión.	61
IV.5.1. Diversidad Alfa.	66
IV.5.2. Dominancia.	66
IV.5.3. Altura.	67
IV.5.4. Diversidad Beta.	67
IV.5.5. Suelo.	69
IV.5.6. Análisis de Ordenación Canónica ACC.	70
IV.6. Conclusiones.	74
IV.7. Literatura Citada.	75
 V. Conclusiones.	 80
V.1. Retos de la Rehabilitación de Ecosistemas en el Noreste de México.	85
V.2. Literatura Citada.	86

## Capítulo I. Introducción.



## **I. Introducción.**

Las comunidades semiáridas constituyen un tercio de la superficie mundial y están localizadas en zonas climáticas extremas, en las que la productividad neta de la vegetación y su desarrollo está limitado por la disponibilidad de agua (Boisvenue y Running, 2006). Estas se caracterizan por presentarse en condiciones climatológicas extremas y con una reducida temporada de lluvias. Cuando estas precipitaciones se presentan lo hacen de manera intensa y son de corta duración, lo cual propicia periodos de abundancia de humedad que sólo ciertos organismos adaptados a estas condiciones logran aprovechar (Thomas, 2011).

Estas condiciones climáticas contrastantes, con periodos largos de escasez hídrica y periodos cortos de abundancia, dan lugar a una serie de formas biológicas diversas que, con el objetivo de perpetuarse, presentan adaptaciones específicas, resultando que algunas especies presenten un rango de distribución muy restrictiva (endemismo) (Valiente et al., 1991).

La biodiversidad presente en estos ecosistemas áridos y semiáridos es el resultado de procesos ecológicos y evolutivos que se han moldeando a lo largo de millones de años (FAO, 2006). Así por ejemplo, Huerta y García (2004) observaron que en las comunidades de matorral xerófilo de México, las variables físicas de sustrato y paisaje son las principales responsables de la diversidad y riqueza de especies. Pese a que estos ecosistemas albergan gran biodiversidad (Jiménez, 2013), están sometidos a importantes amenazas como la elevada degradación debido al cambio de uso de suelo para el establecimiento de áreas agrícolas y pecuarias (Alanís et al., 2008; Correa, 1996; Jiménez et al., 2012).

En el norte de México el matorral xerófilo cubre una superficie de 66'404,097 ha (Challenger et al., 2009), este puede ser clasificado en una serie de subtipos entre los que destacan el matorral desértico rosetófilo, el matorral desértico micrófilo y el matorral submontano (Velázquez et al., 2002). En el estado de Coahuila, los dos primeros tipos de matorral representan el 33.2 y el 24.8% de la vegetación,

respectivamente (Palacio et al., 2000)., mientras que en el estado de Nuevo León el Matorral desértico micrófilo cubre una superficie que corresponde al 20.5% , el Matorral Desértico Rosetófilo cubre una extensión que corresponden al 8.34% y el Matorral Submontano cubre un 22.2% del territorio estatal (Treviño, 2006) Uno de los aspectos que confiere mayor importancia a estas comunidades, especialmente a los matorrales desérticos rosetófilo y micrófilo en Coahuila, es la abundancia en especies de distribución restringida, principalmente de cactáceas (Villarreal y Encina, 2005). Numerosos trabajos han estudiado el estado de los ecosistemas del Noroeste de México, evaluando tanto diversos aspectos relacionados con la biodiversidad como la dinámica sucesional del componente vegetal (Ugalde et al., 2008) entre otros. Sin embargo, es una región extensa que requiere información específica y actualizada que permita entender la composición y estructura de los ecosistemas presentes.

El matorral es el ecosistema más abundante e históricamente ha sido el más utilizado en las zonas áridas y semiáridas de México. Lamentablemente también ha sido fuertemente afectado desde el punto de vista ecológico. En las últimas décadas, las diferentes actividades silvoagropecuarias han causado por un lado la pérdida de cobertura vegetal (Velázquez et al., 2002) y por otra cambios en la estructura y composición florística en este tipo de vegetación. A pesar de esto, paradójicamente las investigaciones sobre esta comunidad no han sido muy exhaustivas. Aun así, distintos tipos de matorrales del país han sido estudiados en mayor o menor grado, como es el caso del matorral desértico micrófilo, del matorral submontano (Canizales-Velázquez et al., 2009; Estrada-Castillón et al., 2010) y del matorral espinoso tamaulipeco (Jiménez-Pérez et al., 2009).

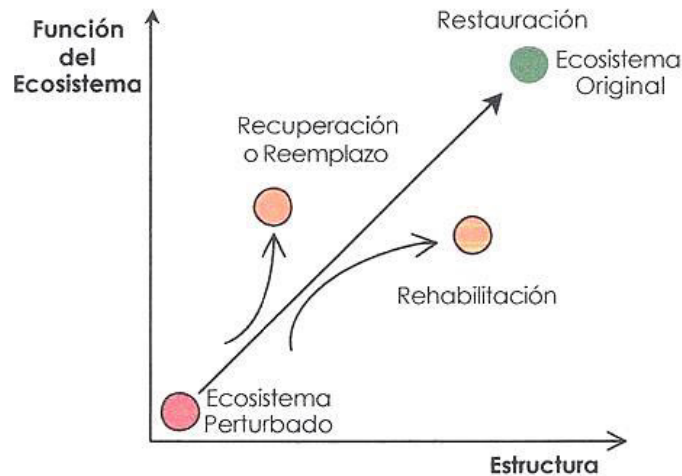
Las regiones semiáridas poseen una vasta riqueza de materiales de origen geológico que representan una alternativa económica para países en vías de desarrollo (Neri y Sánchez, 2010). En los últimos años se ha incrementado el aprovechamiento de materiales de origen sedimentario, como son calizas y arcillas, debido a su demanda como insumos para la construcción, situación que

ha promovido el desarrollo en las regiones rurales y las actividades industriales en los núcleos urbanos (Ten Kate et al., 2004). Sin embargo, existen problemas asociados a esta actividad como lo son: la fragmentación de los ecosistemas por efecto del retiro de la cubierta vegetal y el abandono de estas áreas sin prácticas de rehabilitación (Josa et al., 2012; Wassenaar et al., 2012), dicha fragmentación ocasiona la modificación del ecosistema a nivel regional y la pérdida de hábitat en zonas específicas de influencia y amortiguamiento, por lo que restringen el flujo natural y el intercambio genético de la flora y fauna silvestre (Jiménez et al., 2009; Rybicki y Hanski, 2013), aunado a esto, la presencia de estos proyectos de manera cercana a zonas en buen estado de conservación, como lo son las Áreas Naturales Protegidas, realza la importancia de la generación de conocimiento y divulgación de prácticas efectivas para la restauración y/o rehabilitación de estos ecosistemas en la planeación de los procesos de extracción, lo cual coadyuvará a la sustentabilidad de los recursos naturales y a la restitución de los servicios naturales que proveen (Kirmer et al., 2012).

Existen especies vegetales que han desarrollado numerosas estrategias para adaptarse en estas condiciones, como es el caso del mezquite (*Prosopis glandulosa*) que produce raíces pivotantes largas para llegar al agua almacenada a mayor profundidad, mientras algunas gramíneas como es el caso de *Bouteloua eripoda* presenta raíces fibrosas hinchadas para interceptar la humedad disponible, antes de esta se evapore.

La atención al problema del continuo deterioro y la pérdida de superficie ocupada por los ecosistemas han llevado a la creación de una disciplina llamada restauración ecológica, la cual tiene como objetivo la recuperación de los ecosistemas perturbados. Para ello, a partir del conocimiento de la ecología de los sistemas naturales, el proceso de restauración trata de favorecer los procesos del ecosistema para acelerar o adelantar una serie de fases sucesionales que tienen como meta recuperar la estructura y función que tenía antes de la perturbación (Bradshaw, 1983; Bradshaw, 1997). Existen varias vertientes o tendencias en la

restauración ecológica, como lo muestra la figura 1, en donde se parte de un ecosistema perturbado y se tienen tres líneas de acción; 1) la restauración, con el fin de llegar a la condición original del sitio; 2) la rehabilitación, donde se incluyen algunas especies exóticas para superar la degradación (con fines ecológicos y económicos) y 3) la recuperación, donde se utilizan sólo especies exóticas (con fines también ecológicos y económicos) (Lamb, et al., 1997).



**Figura 1.** Representación de la restauración de un ecosistema (modificado de Bradshaw, 1983).

En ambientes degradados, es necesario que los fragmentos subsistentes del ecosistema puedan ser unidos, para mantener procesos ecológicos básicos y conservar su biodiversidad (Viana, V.M., Tabanez, A.A.J. & Batista, J.L.F., 1997). Así, los bordes o límites entre una zona en buen estado de conservación y una perturbada son un sitio idóneo para llevar a cabo la recuperación de la vegetación madura, ya que las condiciones micro ambientales y los procesos biológicos no se ven modificados tan drásticamente como en las zonas abiertas (Didham, R.K. 1998).

Bajo ciertas circunstancias, la suspensión de actividades humanas es suficiente para que un ecosistema puede recuperar las condiciones básicas para la restauración en forma espontánea, especialmente si la extensión del daño es pequeña, o si existen otras condiciones como áreas aledañas que cuenten con germoplasma nativo (microbiano, vegetal, fúngico y animal) y que no existan



secuelas de contaminación residual de larga duración en suelos, agua y aire. En esos casos, las especies pioneras pueden iniciar la secuencia de colonización y establecimiento de la vida silvestre local de manera continua y, en consecuencia, la recuperación de las propiedades de orden superior del ecosistema (resistencia y resiliencia, entre otras.). Mediante este supuesto la principal actividad de un restaurador, aparte de vigilar que las causas del deterioro no regresen, deberá ser, al menos, el seguimiento cercano de los procesos de sucesión vegetal y animal que ahí ocurran, a este proceso se le denomina restauración pasiva.

En general es más frecuente que la extensión y magnitud de los daños causados por actividades humanas sean considerables y que tengan efectos sinérgicos con otros factores ambientales; por ejemplo, un daño severo, causado en un área grande y en cuyos alrededores existen sólo vestigios del germoplasma original, tiene muchos factores adversos. Esto implicará una dificultad mayor para propiciar procesos de recolonización natural (Wiens, 1997). Estos casos representan los verdaderos retos para la restauración ecológica, pues para ellos habrá que proponer métodos tanto innovadores como viables para revertir los efectos del grave deterioro, este proceso es denominado restauración activa.

La presente investigación se desarrolló en un ecosistema semiárido que durante la última década se ha visto impactado por la industria. Nuestra línea de investigación se centra en conocer y describir las comunidades vegetales localizadas en la región semiárida entre los estados de Nuevo León y Coahuila, así como la evaluación de la dinámica de la restauración en una escala temporal en una zona donde las actividades extractivas de aprovechamiento de caliza y arcilla han llegado a su fin.

## **I.1. Hipótesis**

Se consideraron las siguientes hipótesis 1) existen diferencias entre la composición de especies en áreas restauradas a través del tiempo. 2) la incorporación de ejemplares nativos de talla adulta promueven la sucesión ecológica y la estabilidad del suelo a través de la generación de materia orgánica.

## **I.2. Objetivos**

La presente investigación tuvo los siguientes objetivos específicos.

1.- Evaluar la estructura y composición vegetal de tres ecosistemas (Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Rosetófilo y Matorral Submontano) ubicados en el norte de México.

2.- Evaluación de las prácticas de rehabilitación de un ecosistema semiárido afectado por el establecimiento de un banco de material en el norte de México.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos, en el primero se presenta la introducción general, en el segundo y tercero se evalúan la estructura y composición de la cubierta vegetal presente en tres comunidades pertenecientes al matorral xerófilo: Matorral Desértico Micrófilo, Matorral Desértico Rosetófilo y Matorral Submontano para ser considerado como línea base de comparación con zonas que se han visto deteriorada por factores antropogénicos en la última década, particularmente por el establecimiento de desarrollos industriales y el aprovechamiento minero a cielo abierto. En el cuarto capítulo se presentan los resultados de la evaluación de los efectos de las acciones realizadas en la restauración de un ecosistema semiárido impactado por el aprovechamiento de materiales a cielo abierto. Finalmente el quinto capítulo se presenta una conclusión general basado en el análisis de los resultados en conjunto.

### I.3. Literatura Citada:

- Alanís, E., Jiménez, J., Espinoza D., Jurado, E., Aguirre, O. A. y González, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada postincendio en el Parque Ecológico Chipinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 14(2): 13-118.
- Boisvenue, C. y Running, S. W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology* 12(5): 862–882.
- Bradshaw, A. D., 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20, 1-17.
- Bradshaw, A.D.,1997. The importance of soil ecology in restoration science. in *Restoration ecology and sustainable development* (eds. Urbanska, K.M., Webb, N.R. & Edwards, P.J.) 33-64 (Cambridge University Press, Reino Unido).
- Canizales, P. A., Alanís, E., Aranda, R., Mata, J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J. I. y Ruiz, M. G. (2009). Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2): 115-120.
- Challenger, A. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *En Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, Sarukhán, J. (coord.) CONABIO, México, pp. 37-73.
- Correa, J. B. 1996. Evaluación y Cuantificación de los Cambios del Uso del Suelo Mediante Imágenes de Satélite en los Municipios de Linares y Hualahuises. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 47 p.
- Didham, R.K., 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia* 116, 397-406.
- Estrada, E., L. Scott, J.A. Villareal, E. Jurado, M. Cotera, C. Cantú y J. García. 2010. Clasificación de los pastizales del Noreste de México

- asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81(2):401-416.
- FAO. 2006. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005: Hacia la ordenación forestal sostenible. Estudio FAO: Montes 147. Roma. 321 p.
  - Huerta, F. M. y E. García. 2004. Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: Implicaciones para la conservación. *Interciencia* 29(8):435-441.
  - Jiménez, J. E. Alanís; M. A. González; O. A. Aguirre y E. J. Treviño. 2013. Characterizing Regeneration of Woody Species in Areas with Different Land-History Tenure in the Tamaulipan Thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 58(3):299-304. 2013
  - Jiménez, J., E. Alanís, J.L. Ruiz, M.A. González, J.I. Yerena, G.J. Alanís. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*. 15(2):66-71.
  - Jiménez-Pérez, J., E. Alanís-Rodríguez, O.A. Aguirre-Calderón, M. Pando-Moreno, M.A. González-Tagle. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques* 15(3):5-20.
  - Josa, R., Jorba, M., and Vallejo, V. R. (2012). Opencast mine restoration in a Mediterranean semi-arid environment: failure of some common practices. *Ecological Engineering*. 42: 183-191.
  - Kirmer, A., Baasch, A., and Tischew, S. (2012). Sowing of low and high diversity seed mixtures in ecological restoration of surface mined-land. *Applied Vegetation Science*. 15(2): 198-207.
  - Lamb, D., Parrotta, J., Keenan, R. & Tucker, N., 1997. Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest lands. In *Tropical forest remnants. Ecology, management, and conservation of fragmented communities* (eds. Laurance, W.F. & Bierregaard, R.O.) 366-385 (The University of Chicago Press, Chicago).

- Neri, A. C. and Sánchez, L. E. (2010). A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. *Journal of Environmental Management*. 91(11): 2225-2237.
- Palacio, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna, G. Gómez, J. López, M. Palma, I. Trejo, A. Peralta, J. Prado, A. Rodríguez, R. Mayorga y F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional. *Investigaciones Geográficas (UNAM)* 43:183–203.
- Rybicki, J. and Hanski, I. (2013). Species–area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation. *Ecology Letters*. 16(1):27-38.
- Ten Kate, K., Bishop, J., and Bayon, R. 2004 Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case. [En línea]. Disponible en: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/bdoffsets.pdf>. Fecha de consulta: 4 de Abril del 2012.
- Thomas, D. S. G. 2011. Arid zone geomorphology: process, form and change in drylands. Third Edition. United Kingdom. 624 p.
- Treviño Garza, E. J., 2006 "Cambios de Uso del suelo y su impacto en el desarrollo" en: Gutiérrez, E.; Palacios, L. y K Acuña (ed): Desarrollo Sustentable, Diagnostico y prospectiva para Nuevo León Editorial Plaza y Valdez , México, p. 161 – 178. ISBN 970-722-617-X.
- Ugalde, J., D. Granados-Sánchez, A. Sánchez-González. 2008. Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *TERRA Latinoamericana* 26(2):153-160.
- Valiente A., A. Bolongaro, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Nunez, G. Barnard y E. Vazquez. 1991. Spatial Relationship between Cacti and Nurse Shrubs in a Semi-Arid Environment in Central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2(1):15-20.
- Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica INE* 62: 21–37.

- Viana, V.M., Tabanez, A.A.J. & Batista, J.L.F., 1997. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moist Forest. in Tropical forest remnants. Ecology, management and conservation of fragmented communities (eds. Laurance, W.F. & Bierregaard, R.O. Jr.) 351-365 (University of Chicago Press, Chicago, 1997).
- Villarreal J.A. y J. Encina. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana* 70: 1–46.
- Wassenaar, T. D., Henschel, J. R., Pfaffenthaler, M. M., Mutota, E. N., Seely, M. K., and Pallett, J. (2012). Ensuring the future of the Namib's biodiversity: Ecological restoration as a key management response to a mining boom. *Journal of Arid Environments*. 93:126-135.
- Wiens, J, 1997. The emerging role of patchiness in conservation biology. Pp. 93-108 en: S. T. A. Pickett, R. S. Ostfeld, M. Shahchak y G. E. Likens (Eds.). *The Ecological Basis of Conservation. Heterogeneity, ecosystems and Biodiversity*. Chapman and Hall, USA.

## **Capítulo II.**

### **Diversidad y Composición Vegetal de Matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el Noreste de México**



**Publicado como: Mata, J.M.; Treviño, E.J.; Valdecantos, A.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Alanís, E.; Foroughbackhch, R. 2014. Diversidad y Composición Vegetal de Matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el Noreste de México. Revista Iberoamericana de Ciencias, ISSN 234-2501, Vol. 1 Num. 3, Pps 4-15, RelbCi – Agosto 2014**

## **II. Diversidad y Composición Vegetal de Matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el Noreste de México**

### **II.1. Resumen**

Se evaluó la diversidad y composición vegetal de los matorrales (matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y matorral submontano) del Valle de Santa Catarina (Noreste de México) siguiendo un gradiente altitudinal. Se establecieron 32 sitios de muestreo por cada tipo de matorral y se realizó un censo de las especies vegetales. Se determinó para cada especie su abundancia, dominancia, frecuencia e Índice de Valor de Importancia; e índices de diversidad alfa y beta de las comunidades vegetales. Se registraron 3,197 ejemplares vegetales (74 especies: 24 familias). Los tres matorrales presentaron diferencias significativas en su densidad y cobertura; una similitud media (diversidad beta) en su composición vegetal y similitud en su riqueza y diversidad alfa. Se comprende la composición y estructura vegetal de los matorrales evaluados. La información generada en este estudio es de gran importancia, porque cuantifica variables que permiten la comprensión de la estructura de la vegetación y composición de los matorrales que distribuyen en el valle de Santa Catarina.

**Palabras claves:** Endemismo, distribución, riqueza y similitud.

### **II.2. Abstract**

This study evaluates the diversity and composition of the scrub vegetation (Rosette Desert Scrub, Microphyll Desert Scrub and Submontane Scrub) of Santa Catarina Valley (northeastern Mexico) along an altitudinal gradient. To obtain a census of shrubs, trees, succulents and grasses of the area, 32 square sampling sites of 100 m<sup>2</sup> were established randomly for each type of scrub. Species abundance (N/ha), dominance (m<sup>2</sup>/ha), frequency and importance value index (IVI) were determined for each plant community, as well as indices of alpha and beta diversity. A total of 3,197 plant specimens were recorded (74 species: 24 families), 52 species in the RDS, 57 species in the DMS and 53 species in the SC. The three types of scrubs



recorded significant differences in density and coverage, presenting an average similarity (beta diversity) in plant composition and similarity in their richness and alpha diversity. The information generated in this study is of great importance, because it quantifies variables that allow the comprehension of the composition and vegetation structure of the scrubs that distribute in the Santa Catarina Valley.

**Keyword:** Endemism, distribution, richness and similarity.

### **II.3. Introducción.**

Las comunidades semiáridas constituyen un tercio de la superficie mundial y están localizadas en zonas climáticas extremas, en las que la productividad neta de la vegetación y su desarrollo está limitada por la disponibilidad de agua (Boisvenue y Running, 2006). Estas comunidades semiáridas se caracterizan por sus condiciones climatológicas extremas y por la reducida temporada de lluvias. Por otro lado, cuando estas precipitaciones se presentan lo hacen de manera intensa y de corta duración, lo cual propicia periodos de abundancia que sólo ciertos organismos adaptados a estas condiciones logran aprovechar (Thomas, 2011).

Estas condiciones climáticas contrastadas, con periodos largos de escasez hídrica y periodos cortos de abundancia, dan lugar a una serie de formas biológicas diversas que, con el objetivo de perpetuarse, presentan adaptaciones específicas, resultando que algunas especies presenten un rango de distribución muy restrictiva (endemismo) (Valiente et al., 1991).

La biodiversidad presente en estos ecosistemas áridos y semiáridos es el resultado de procesos ecológicos y evolutivos que se han moldeando a lo largo de millones de años (FAO, 2006). Así por ejemplo, Huerta y García (2004) observaron que, en las comunidades de matorral xerófilo de México, las variables físicas de sustrato y paisaje son las principales responsables de la diversidad y riqueza de especies. Pese a que estos ecosistemas albergan gran biodiversidad (Jiménez et al., 2013), están sometidos a importantes amenazas como la elevada degradación debido al

cambio de uso de suelo para el establecimiento de áreas agrícolas y pecuarias (Alanís et al., 2008; Correa, 1996; Jiménez et al., 2012).

En el norte de México se presenta una condición de matorral xerófilo con una superficie de 66'404,097 ha (Challenger et al., 2009), de la cual se deriva una serie de subtipos. Así el matorral desértico rosetófilo, el matorral desértico micrófilo y el matorral submontano son tres tipos de formación que se incluyen dentro del Matorral Xerófilo (Velázquez et al., 2002). En el estado de Coahuila, los dos primeros tipos de matorral representan el 33.2 y el 24.8% de la vegetación, respectivamente, mientras que en el estado de Nuevo León los tres tipos de matorral en conjunto/cada uno presentan un porcentaje entre el 10.5 y el 11.3% del territorio (Palacio et al., 2000). Uno de los aspectos que confiere mayor importancia a estas comunidades, especialmente a los matorrales desérticos rosetófilo y micrófilo en Coahuila, es la abundancia en especies de distribución restringida, principalmente de cactáceas (Villarreal y Encina, 2005). Otros numerosos trabajos han estudiado el estado de los ecosistemas del Noroeste de México, evaluando tanto diversos aspectos relacionados con la biodiversidad (Arriaga et al., 2000; Zamora et al., 2005; Estrada et al., 2010) como la dinámica sucesional del componente vegetal (Ugalde et al., 2008) entre otros. Sin embargo, es una región extensa que requiere información específica y actualizada que permita entender la composición y estructura de los ecosistemas presentes.

La finalidad del presente estudio fue analizar y caracterizar la estructura vegetal del Valle de Santa Catarina. Esta zona se ha visto deteriorada por factores antropogénicos en la última década, particularmente por el establecimiento de desarrollos industriales y el aprovechamiento minero a cielo abierto. Desde una perspectiva socioeconómica, el Valle de Santa Catarina representa un corredor comercial entre dos de las ciudades más importantes del noreste de México (Monterrey y Saltillo). De esta manera, en los últimos años surge la necesidad de establecer proyectos de restauración y reforestación, por lo que, la presente

investigación pretende servir como línea base en la toma de decisiones para estos proyectos.

Los objetivos de la presente investigación son evaluar la diversidad y composición vegetal de matorrales siguiendo un gradiente altitudinal del noreste de México mediante: 1) la utilización de los parámetros ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia 2); la estimación de la diversidad alfa y beta de la vegetación y 3) la caracterización del estrato arbóreo mediante la densidad de individuos y el área de copa.

#### **II.4. Materiales y métodos.**

##### **A. Área de estudio**

El área de estudio se localiza en el Noreste de México, en los municipios de Santa Catarina, Nuevo León y Ramos Arizpe, Coahuila (Mapa 1). En el área convergen dos provincias biogeográficas: al suroeste la provincia del Altiplano Chihuahuense y al noreste la Tamaulipeca (CONABIO, 1997). Los suelos dominantes en el área de estudio son Regosol calcárico y Xerosol (INEGI, 1980). El clima es BWhwv: Muy árido, semiárido, con lluvias en verano y una temperatura y precipitación media anual de 24°C y 217 mm, respectivamente (Estación Meteorológica, Mina, N.L.; García, 1987).



**Tabla 1.** Características generales de las tres áreas evaluadas: (MDM), (MSM) y (MDR).

Característica	Área evaluada		
	MDM	MSM	MDR
Latitud (N)	25°34' 28''	25°32' 03''	24°41' 50''
Longitud (O)	100°46' 49''	100°56' 07''	100°35' 01''
Exposición	35° NE	35° NE	25° NW
Elevación (msnm)	870	980	1,175
Pendiente (°)	0°-5°	10°-20°	5°-15°
Suelo	Rc/2	Xh	Xh

RC = REGOSOL CALCÁRICO; XH = XEROSOL

## II.5. Evaluación de la vegetación.

En la primavera del año 2012 se evaluó la comunidad vegetal de los tres tipos de matorrales (MDR, MDM y MSM), donde se consideraron todas las suculentas, herbáceas, arbustos y árboles. Se establecieron 32 sitios de muestreo aleatoriamente en cada tipo de matorral (96 sitios de muestreo en total). Los sitios de muestreo fueron cuadrados de 10 x 10 m (100m<sup>2</sup>). En estos sitios se realizó un censo de todos los arbustos y árboles con un diámetro basal ( $d_{0.10m}$ ) superior a 0.5cm, así como de todas las suculentas y herbáceas. El diámetro basal (diámetro tomado a 10 cm de la superficie del suelo) es una medida estándar evaluada en árboles y arbustos de matorrales del noreste de México (Jiménez et al., 2013). A todos los individuos se les efectuaron mediciones de diámetro de copa a través de una cinta métrica, midiendo el espacio ocupado en sentido norte-sur y este-oeste. Para el caso de la coberturas utilizo un flexómetro y en el caso de las alturas un clinómetro digital. Toda la información fue captura mediante formatos de campo, fotografías y los sitios fueron georreferenciados mediante coordenadas UTM WGS 84.

## II.6. Análisis de la información.

A partir de la información generada de los sitios de muestreo, se derivó información fitosociológica y dasométrica. Para cada especie se determinó su abundancia (N/ha), de acuerdo al número de individuos, su dominancia (m<sup>2</sup>/ha), en función a la cobertura de copa, y su frecuencia con base a su presencia en los sitios de muestreo. Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado a nivel de

taxón denominado Índice de Valor de Importancia (IVI), que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Magurran, 2004). Para determinar el índice de Riqueza de Margalef (Clifford y Stephenson, 1975),  $DMg$ , se utilizó la ecuación (1), donde  $s$  es el número de especies y  $N$  el número total de individuos.

$$DMg = \frac{(s-1)}{\ln(N)} \quad (1)$$

La ecuación con la que se estimó el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949),  $H'$ , se define en la ecuación (2), donde  $s$  es el número de especies presentes, y  $p_i$  es la proporción de las especies  $p_i = n_i/N$ ; donde  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  es el número total de individuos.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i) \quad (2)$$

Para evaluar si existían diferencias significativas en la densidad y dominancia de la vegetación, así como en los índices de riqueza de Margalef y de diversidad de Shannon entre los matorrales evaluados, se realizó un análisis de varianza de un factor (cada tipo de matorral a tres niveles). Posteriormente, cuando se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza ( $P < 0.050$ ), se efectuaron comparaciones múltiples mediante el Test HSD de Tukey. Sobre los datos de abundancia y dominancia de las especies con valores  $>5\%$  se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para observar la agregación de las 96 parcelas de muestreo y su agrupamiento con los distintos tipos de matorral evaluados. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS V 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

La diversidad  $\beta$  (relación de la composición florística) de los tres matorrales se exploró mediante un análisis de ordenación Bray-Curtis (1957), tomando en consideración las abundancias absolutas (N/ha). El análisis se desarrolló mediante el programa BioDiversity Pro 2.0 (McAleece et al., 1997). Cabe hacer notar que los

métodos y análisis utilizados en este estudio son similares a los utilizados frecuentemente para evaluar la diversidad y composición de especies en comunidades ecológicas (Aragón, 2010; Moreno, 2011; Zacarías, 2011; Alanís, 2012).

## **II.7. Resultados**

### **II.7.1. Parámetros ecológicos.**

En total se registraron 3,197 ejemplares vegetales, correspondientes a 74 especies y 24 familias (Tabla 2). En el MDM se encuentran 43 géneros distribuidos en 52 especies. El género *Acacia* es el más representativo con cuatro especies. Seis especies presentan valores de abundancia relativa superiores al 5%. Estas son, por orden de abundancia, el arbusto *Berberis trifoliolata* (13.61%), la arbórea *Prosopis glandulosa* (7.68%), la herbácea *Gutierrezia microphylla* (7.42%), las arbustivas *Leucophyllum frutescens* (6.41%) y *Calliandra conferta* (5.43%), y la herbácea *Gymnosperma glutinosum* (5.32%). Es de destacar la presencia de tres formas vitales diferentes entre las especies más abundantes, así como la presencia de 27 especies con valores porcentuales inferiores al 1.0 %. Para el MSM se registraron 48 géneros distribuidos en 57 especies. El género *Echinocereus* es el más representativo con cuatro especies seguido por *Acacia*, *Agave* y *Coryphantha* con tres. Las especies más abundantes son la roseta *Agave lechuguilla* (13.11%), las arbustivas *Leucophyllum frutescens* y *Mortonia greggii* (7.67 y 6.79%, respectivamente) y los árboles *Acacia berlandieri* y *Pinus remota* (7.61 y 5.68%, respectivamente), las cuales representan el 40.86 % de abundancia en total. Se registraron 30 especies con valores porcentuales inferiores a 1.0 %.

En el MDR se registraron 44 géneros correspondientes a 53 especies. Los géneros *Agave*, *Coryphantha* y *Echinocereus* son los más representativos con tres especies respectivamente. Una especie domina por encima de las demás, y es *A. lechuguilla*, que presenta valores de abundancia relativa de 29.64%. Las siguientes especie más representadas son la herbácea *G. microphylla* y el arbusto *Porlieria*

*angustifolia*, con valores muy inferiores (5.88 y 4.85%, respectivamente). Se registraron 26 especies con valores porcentuales inferiores a 1.0 % (Tabla 2).

Atendiendo a la dominancia de las especies, se observan algunos cambios respecto a la abundancia, debidos a la morfología y a las formas vitales de las diferentes especies. Así, en el MDM son las especies arbustivas y arbóreas las que dominan (>5% de dominancia relativa), por lo que las dos herbáceas más abundantes (*G. microphylla* y *G. glutinosum*) muestran menos peso ecológico para esta variable. En el MSM, es el pino la especie dominante (11.66%) junto con *A. lechuguilla* (10.64%), resultando las arbustivas con valores inferiores de dominancia relativa. Finalmente, en el MDR es de nuevo *A. lechuguilla* (24.06%) la especie dominante, posicionándose en segundo lugar en cuanto a dominancia la arbórea *P. glandulosa* (5.29%).

Respecto la frecuencia relativa de las especies en las distintas parcelas de muestreo, en el MDM las especies más frecuentes son *B. trifoliolata*, *P. glandulosa* y *Forestiera angustifolium*, con valores inferiores al 5% para el resto de las especies. En el MSM son *A. lechuguilla*, *A. berlandieri* y *L. frutescens*, por este orden, las especies más frecuentes. Destaca que *P. remota* presenta unos valores de frecuencia relativa de 3.24%, siendo la octava especie más frecuente, la tercera en abundancia y la primera en dominancia. En el MDR es *A. lechuguilla* la única especie que presenta valores de frecuencia relativa superiores a 5%.



**Tabla 2.** Valores de Abundancia, Dominancia, Frecuencia Relativa e Índice de Valor de Importancia de las áreas evaluadas.

Nombre Científico	Forma de Vida	Área evaluada											
		Matorral Desértico Microfilo				Matorral Desértico Rosétófilo				Matorral Submontano			
		AR	DR	FR	IVI	AR	DR	FR	IVI	AR	DR	FR	IVI
<i>Acacia berlandieri</i>	Arborescente	2.140	1.828	2.310	6.278	2.462	3.468	4.386	10.316	7.612	6.474	6.796	20.883
<i>Acacia farnesiana</i>	Arborescente	0.347	0.351	0.330	1.028	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia greggii</i>	Arborescente	1.476	1.607	1.650	4.733	2.118	2.491	3.509	8.118	0.222	0.246	0.647	1.116
<i>Acacia tomentosa</i>	Arbustiva	0.885	0.793	1.650	3.328	-	-	-	-	0.217	0.218	0.647	1.082
<i>Agave americana</i>	Roseta	1.023	0.566	1.320	2.908	3.373	4.354	3.801	11.528	1.071	0.808	1.294	3.173
<i>Agave lechuguilla</i>	Roseta	3.152	2.985	2.640	8.777	29.637	24.061	8.187	61.886	13.106	10.644	6.149	29.899
<i>Agave striata</i>	Roseta	2.036	2.227	0.990	5.253	2.159	2.492	2.047	6.698	3.527	2.547	2.589	8.663
<i>Ariocarpus retusus</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	0.246	0.128	0.647	1.021
<i>Artemisia ludoviciana</i>	Herbácea	-	-	-	-	0.267	0.355	0.292	0.914	-	-	-	-
<i>Atriplex canescens</i>	Herbácea	1.873	1.203	1.320	4.396	1.921	2.291	1.462	5.675	3.934	2.836	3.236	10.007
<i>Bauhinia divaricata</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	0.195	0.298	0.324	0.817
<i>Berberis trifoliolata</i>	Arbustiva	13.614	15.813	8.581	38.008	1.681	2.321	2.924	6.926	3.193	3.948	3.883	11.024
<i>Bernardia myricaefolia</i>	Arbustiva	0.724	0.653	0.660	2.038	1.037	1.541	1.462	4.039	2.015	1.878	1.942	5.835
<i>Calliandra conferta</i>	Arbustiva	5.426	5.045	4.950	15.422	2.895	4.396	2.924	10.215	1.957	1.095	1.942	4.994
<i>Celtis pallida</i>	Arbustiva	1.986	2.258	3.300	7.545	0.236	0.332	0.585	1.152	0.549	0.581	1.294	2.425
<i>Cercidium macrum</i>	Arborescente	0.601	1.021	0.660	2.282	-	-	-	-	0.223	0.356	0.647	1.226
<i>Condalia hookeri</i>	Arbustiva	3.636	4.890	4.290	12.817	1.571	2.273	2.924	6.769	4.195	5.168	4.854	14.217
<i>Cordia boissieri</i>	Arborescente	1.488	2.742	1.650	5.880	-	-	-	-	0.223	0.562	0.647	1.433
<i>Coryphantha compacta</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.069	0.013	0.292	0.375	0.595	0.026	0.647	1.269
<i>Coryphantha difficilis</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.553	0.068	1.170	1.790	0.198	0.015	0.971	1.185
<i>Coryphantha neglecta</i>	Crasicaule	0.507	0.245	0.660	1.413	1.645	0.287	2.339	4.271	1.063	0.161	1.294	2.519
<i>Croton dioicus</i>	Arbustiva	0.625	0.196	0.330	1.151	0.302	0.267	0.292	0.862	-	-	-	-
<i>Croton torreyanus</i>	Arbustiva	0.744	0.449	0.660	1.852	-	-	-	-	0.354	0.296	0.647	1.297
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	0.262	0.360	0.877	1.499	-	-	-	-
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	Arbustiva	-	2.906	4.950	7.856	2.350	2.283	4.094	8.726	1.749	1.726	2.589	6.064
<i>Dasyliroton texanum</i>	Roseta	2.226	2.275	3.960	8.461	1.776	2.607	2.632	7.014	3.054	2.962	3.560	9.575
<i>Diospyros texana</i>	Arborescente	0.108	0.163	0.330	0.601	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Echinocactus horizontalis</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.513	0.338	0.877	1.729	-	-	-	-
<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Crasicaule	0.582	0.171	-	0.753	1.086	1.167	1.462	3.715	0.593	0.522	0.647	1.762
<i>Echinocereus pectinatus</i>	Crasicaule	0.657	0.221	0.990	1.867	2.358	0.389	3.216	5.964	1.301	0.156	1.618	3.075
<i>Echinocereus poselgeri</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.050	0.035	0.292	0.377	0.061	0.070	0.324	0.455
<i>Echinocereus stramineus</i>	Crasicaule	1.255	0.969	1.980	4.204	0.127	0.112	0.585	0.823	0.339	0.215	0.971	1.525
<i>Ephedra antisiphilitica</i>	Arbustiva	2.278	1.492	2.970	6.740	0.576	0.886	2.047	3.509	0.569	0.595	0.971	2.134
<i>Escobaria emskolleteriana</i>	Crasicaule	0.290	0.059	0.660	1.009	0.073	0.036	0.292	0.401	-	-	-	-
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	0.521	0.668	0.647	1.836
<i>Eysenhardtia texana</i>	Arbustiva	0.689	0.923	0.990	2.603	0.235	0.573	0.585	1.393	0.302	0.159	0.971	1.432
<i>Ferocactus hamathacanthus</i>	Crasicaule	0.567	0.147	0.990	1.704	0.127	0.053	0.585	0.764	-	-	-	-
<i>Flourensia cernua</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	0.084	0.141	0.324	0.549
<i>Forestiera angustifolium</i>	Arbustiva	4.494	5.196	5.941	15.631	0.743	1.749	2.339	4.832	1.430	1.401	3.560	6.390

Nombre Científico	Forma de Vida	Área evaluada											
		Matorral Desértico Microfilo				Matorral Desértico Rosétifilo				Matorral Submontano			
		AR	DR	FR	IVI	AR	DR	FR	IVI	AR	DR	FR	IVI
<i>Fouquieria splendens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	0.095	0.057	0.324	0.475
<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Arborescente	0.084	0.150	0.330	0.565	-	-	-	-	0.065	0.172	0.324	0.561
<i>Gutierrezia microphylla</i>	Herbácea	7.417	4.230	3.300	14.946	5.882	4.779	3.509	14.170	4.750	3.403	1.294	9.447
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Herbácea	5.321	3.922	2.310	11.553	0.084	0.231	0.292	0.608	1.184	0.739	1.294	3.218
<i>Havardia pallens</i>	Arborescente	0.208	0.053	0.330	0.592	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hechtia glomerata</i>	Roseta	-	-	-	-	0.436	0.475	0.292	1.203	-	-	-	-
<i>Jatropha dioica</i>	Crasicaule	1.778	0.922	1.320	4.021	1.879	1.804	2.339	6.022	1.665	1.468	1.942	5.074
<i>Jefea brevifolia</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	0.169	0.168	0.324	0.661
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Arbustiva	0.250	0.148	0.990	1.389	0.366	0.706	1.170	2.241	0.336	0.258	0.647	1.241
<i>Koeberlinia spinosa</i>	Arbustiva	0.511	0.644	1.320	2.475	0.138	0.185	0.585	0.907	1.119	1.379	4.531	7.029
<i>Lantana velutina</i>	Herbácea	0.257	0.100	0.660	1.017	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Larrea tridentata</i>	Arbustiva	0.284	0.268	0.330	0.882	2.733	4.152	3.216	10.101	1.628	3.490	0.971	6.088
<i>Leucophyllum frutescens</i>	Arbustiva	6.409	6.266	3.630	16.305	3.048	2.882	3.801	9.732	7.673	6.282	5.502	19.457
<i>Lophophora williamsii</i>	Crasicaule	0.223	0.094	0.330	0.647	2.062	0.448	2.339	4.849	0.910	0.332	0.971	2.213
<i>Lycium belandieri</i>	Herbácea	0.547	0.472	0.660	1.678	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mammillaria carreti</i>	Crasicaule	0.251	0.070	0.660	0.981	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mammillaria melanocentra</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.179	0.115	0.585	0.879	-	-	-	-
<i>Mammillaria pottsii</i>	Crasicaule	0.764	0.080	0.660	1.505	3.665	0.551	2.924	7.140	1.002	0.107	1.618	2.727
<i>Mimosa texana</i>	Arbustiva	1.405	1.573	0.990	3.968	0.213	0.405	0.292	0.910	0.108	0.059	0.324	0.491
<i>Mortonia greggii</i>	Arbustiva	2.626	2.345	2.640	7.611	3.595	3.662	2.632	9.889	6.787	8.222	3.236	18.245
<i>Neolloydia conoidea</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.084	0.012	0.292	0.389	0.112	0.027	0.324	0.462
<i>Opuntia engelmannii</i>	Crasicaule	1.721	0.986	2.640	5.347	1.230	1.084	2.339	4.653	0.599	0.663	1.618	2.881
<i>Parthenium argentatum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	1.546	0.818	1.294	3.659
<i>Parthenium incanum</i>	Herbácea	-	-	-	-	0.417	0.523	0.877	1.817	-	0.666	-	0.666
<i>Pinus remota</i>	Arborescente	0.502	1.139	0.660	2.301	0.871	2.219	1.462	4.552	5.683	11.659	3.236	20.578
<i>Porlieria angustifolium</i>	Arbustiva	3.963	3.215	3.300	10.479	4.845	4.190	4.386	13.421	3.955	4.037	4.854	12.846
<i>Prosopis glandulosa</i>	Arborescente	7.681	10.949	7.261	25.891	2.499	5.286	3.801	11.586	3.160	4.766	3.883	11.810
<i>Schaefferia cuneifolia</i>	Herbácea	0.120	0.067	0.660	0.847	-	-	-	-	0.112	0.034	0.324	0.469
<i>Sclerocactus scherii</i>	Crasicaule	0.208	0.020	0.330	0.558	0.402	0.094	0.585	1.081	-	-	-	-
<i>Sideroxylon celastrina</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	0.104	0.172	0.324	0.600
<i>Sophora secundiflora</i>	Arborescente	1.295	1.685	1.320	4.300	1.449	2.377	1.170	4.995	1.434	2.274	1.294	5.003
<i>Thelocactus bicolor</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.504	0.432	1.170	2.106	-	-	-	-
<i>Viguiera stenoloba</i>	Herbácea	-	-	-	-	1.109	1.720	1.170	3.998	0.339	0.376	0.971	1.686
<i>Yucca filifera</i>	Roseta arborescente	0.742	1.209	1.650	3.602	0.108	0.072	0.292	0.473	0.654	1.158	1.294	3.106
<i>Zizifus obtusifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	0.112	0.311	-	0.422
<b>Suma</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

El índice de valor de importancia, que integran las tres variables ecológicas anteriores, también marca diferencias entre las tres formaciones vegetales. En MDM y MSM son varias las especies que presentan valores altos para este índice, destacando *B. trifoliolata* y *P. glandulosa* en MDM, y *A. lechuguilla*, *A. berlandieri* y *P. remota* en MSM. Sin embargo, en MDR hay una especie que destaca por encima de las demás que es *A. lechuguilla*. Esta especie presenta un valor de IVI de 61.89, mientras que la especie que presenta el segundo valor más alto es *G. microphylla* con 14.17.

Entre las especies que presentan una abundancia relativa superior a 5%, en al menos uno de los tipos de matorral, y que han sido incluidas en el análisis de componentes principales, se encontró representación de todas las formas vitales excepto de las Crasuláceas. De esta manera, se incluyen en dicho análisis tres especies de árboles (*A. berlandieri*, *P. glandulosa* y *P. remota*), cuatro arbustivas (*B. trifoliolata*, *C. conferta*, *L. frutescens* y *M. greggii*), dos herbáceas (*G. microphylla* y *G. glutinosum*) y una roseta (*A. lechuguilla*).

El análisis de componentes principales (PCA, por su acrónimo en inglés) de los datos de abundancia de estas especies explicó casi la mitad de la varianza en los tres primeros ejes (47.5%). En la representación de los dos primeros ejes (35.4% de la varianza explicada) se aprecia una separación de los distintos tipos de matorral (Figura 1), los símbolos en blanco representan los promedios de cada tipo de matorral. El MDM presenta valores positivos del primer componente, asociado a la abundancia de *P. glandulosa*, *B. trifoliolata* y *C. conferta* (Tabla 3). Las parcelas de MDR y MSM presentan mayor dispersión pero, en general, se asocia a valores negativos del primer componente debido a la abundancia de *A. berlandieri*, *A. lechuguilla* y *M. greggii*. La discriminación más importante entre estos dos tipos de matorral se debe a la mayor abundancia de *P. remota* y, en menor medida, de *A. berlandieri* en el MSM que en el MDR, asociado con valores positivos del segundo componente.

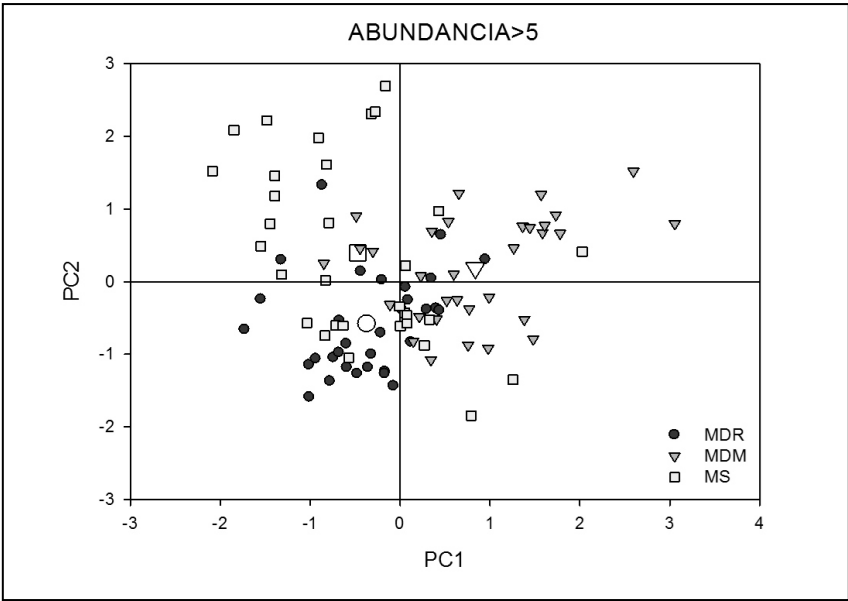


Figura 1.- Representación de los dos primeros ejes del PCA (abundancia).

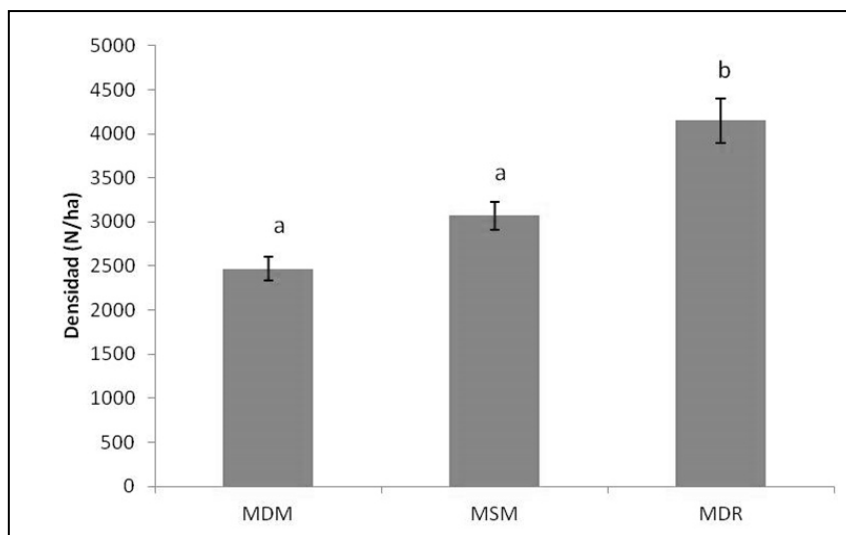
Tabla 3. Matriz de los dos primeros componentes del PCA (abundancia y dominancia relativa).

Especies analizadas	Variable ecológica analizada			
	Abundancia		Dominancia	
	PC1	PC2	PC1	PC2
<i>Acacia berlandieri</i>	-0,557	0,503	-0,507	0,386
<i>Agave lechuguilla</i>	-0,530	-0,427	-0,610	-0,492
<i>Atriplex canescens</i>	N.S.	N.S.	-0,304	-0,461
<i>Berberis trifoliolata</i>	0,623	0,452	0,653	0,224
<i>Calliandra conferta</i>	0,504	0,343	0,465	-0,216
<i>Condalia hookerii</i>	N.S.	N.S.	0,322	0,050
<i>Forestiera angustifolium</i>	N.S.	N.S.	0,422	0,210
<i>Gutierrezia sp.</i>	0,199	-0,398	N.S.	N.S.
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	0,230	-0,106	N.S.	N.S.
<i>Leucophyllum frutescens</i>	0,092	-0,011	0,061	0,185
<i>Mortonia greggii</i>	-0,492	0,380	-0,361	0,440
<i>Pinus remota</i>	-0,232	0,668	-0,170	0,630
<i>Prosopis glandulosa</i>	0,625	0,074	0,508	-0,276
Varianza explicada (%)	20.2	15.2	18.8	13.2

PC1 = COMPONENTE PRINCIPAL 1; PC2 = COMPONENTE PRINCIPAL 2; N.S. = SP NO SELECCIONADA PARA EL ANÁLISIS

### II.7.2. Características dasométricas.

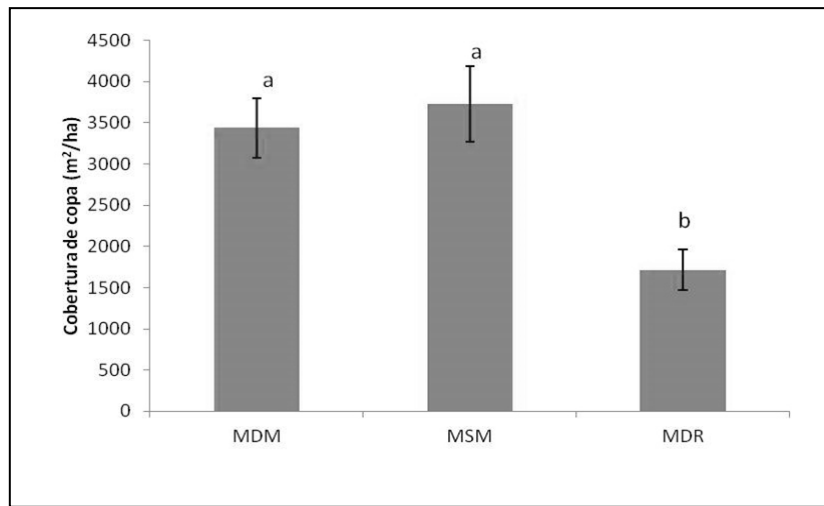
De acuerdo al análisis de varianza, los valores de abundancia presentaron diferencias significativas entre los distintos matorrales evaluados ( $F=20.45$ ,  $P<0.001$ ). El MDM presentó una densidad de  $2469\pm134$  N/ha (media y desviación estándar), seguido por el MSM ( $3069\pm162$  N/ha) y el MDR ( $4148\pm248$  N/ha). A medida que aumenta el grado altitudinal también aumenta la densidad de plantas (figura 2). Sin embargo, es importante mencionar que las condiciones orográficas del valle propician una menor precipitación a mayor altura, por lo que existe una disminución altitudinal de la presencia del estrato medio conformado por especies arbóreas y arbustivas y un aumento de la presencia de especies con rizomas o tallos leñosos, coriáceas y fibrosas que componen un estrato bajo a mayor altura, preferentemente dominado por la familia Agavaceae.



**Figura 2.-** Densidad (media y error típico) de las áreas evaluadas. Letras indican diferencias significativas ( $P<0.05$ ).

En relación a la cobertura, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los matorrales evaluados ( $F=8.83$ ,  $P<0.001$ ; figura 4). El MSM presentó una cobertura de copa de  $3729\pm460$  m<sup>2</sup>/ha, seguido por el MDM ( $3439\pm360$  m<sup>2</sup>/ha), valores en ambos matorrales significativamente superiores a los encontrados en MDR ( $1716\pm245$  m<sup>2</sup>/ha). MSM y MDM ofrecen valores muy similares en cobertura y en número de especies leñosas (30, 29 respectivamente), mientras que el MDR

(23 especies leñosas), con la menor cobertura, presenta la densidad más alta de los tres matorrales evaluados.



**Figura 3.-** Cobertura (media y error típico) de las áreas evaluadas. Letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

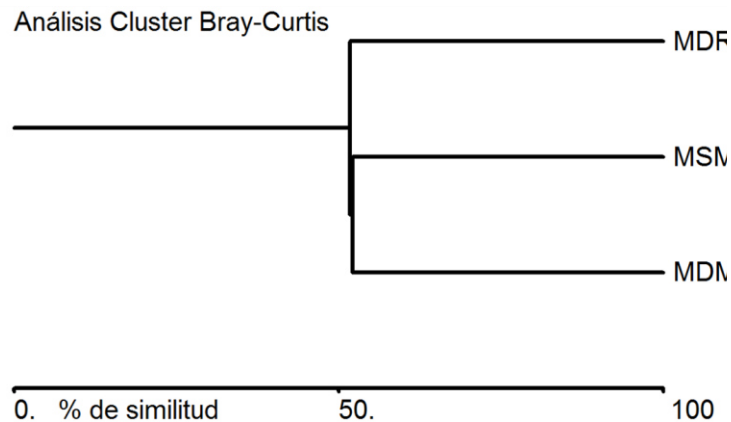
### II.7.3. Diversidad $\alpha$ .

Los índices de riqueza y diversidad de especies en los tres matorrales ofrecieron para el MDM un valor de  $D_{Mg} = 2.59$  y  $H' = 1.908$ , para el MSM  $D_{Mg} = 2.527$  y  $H' = 1.899$ , y para el MDR  $D_{Mg} = 2.503$  y  $H' = 1.887$ . De acuerdo al análisis de varianza los valores de riqueza ( $F = 0.13$   $P = 0.87$ ) y diversidad ( $F = 0.025$ ,  $P = 0.975$ ) no presentaron diferencias significativas entre las matorrales evaluados.

### II.7.4. Diversidad $\beta$ .

Los tres matorrales presentaron diferencias en la composición de especies, ya que en cada uno se registraron especies que manifiestan fidelidad a las condiciones ecológicas específicas como *B. trifoliolata*, *P. glandulosa* y *L. frutescens* en el MDM, *A. lechuguilla*, *A. berlandieri*, *L. frutescens* y *P. angustifolia* en el MSM, y *A. lechuguilla* y *A. berlandieri* en el MDR. De las 74 especies registradas en los tres matorrales (MDM=52, MDR=53 y MSM=57), 36 se presentan en los tres matorrales evaluados y representan el 49.3 % de las especies presentes en el total del área de estudio. De acuerdo al análisis Bray-Curtis la composición vegetal

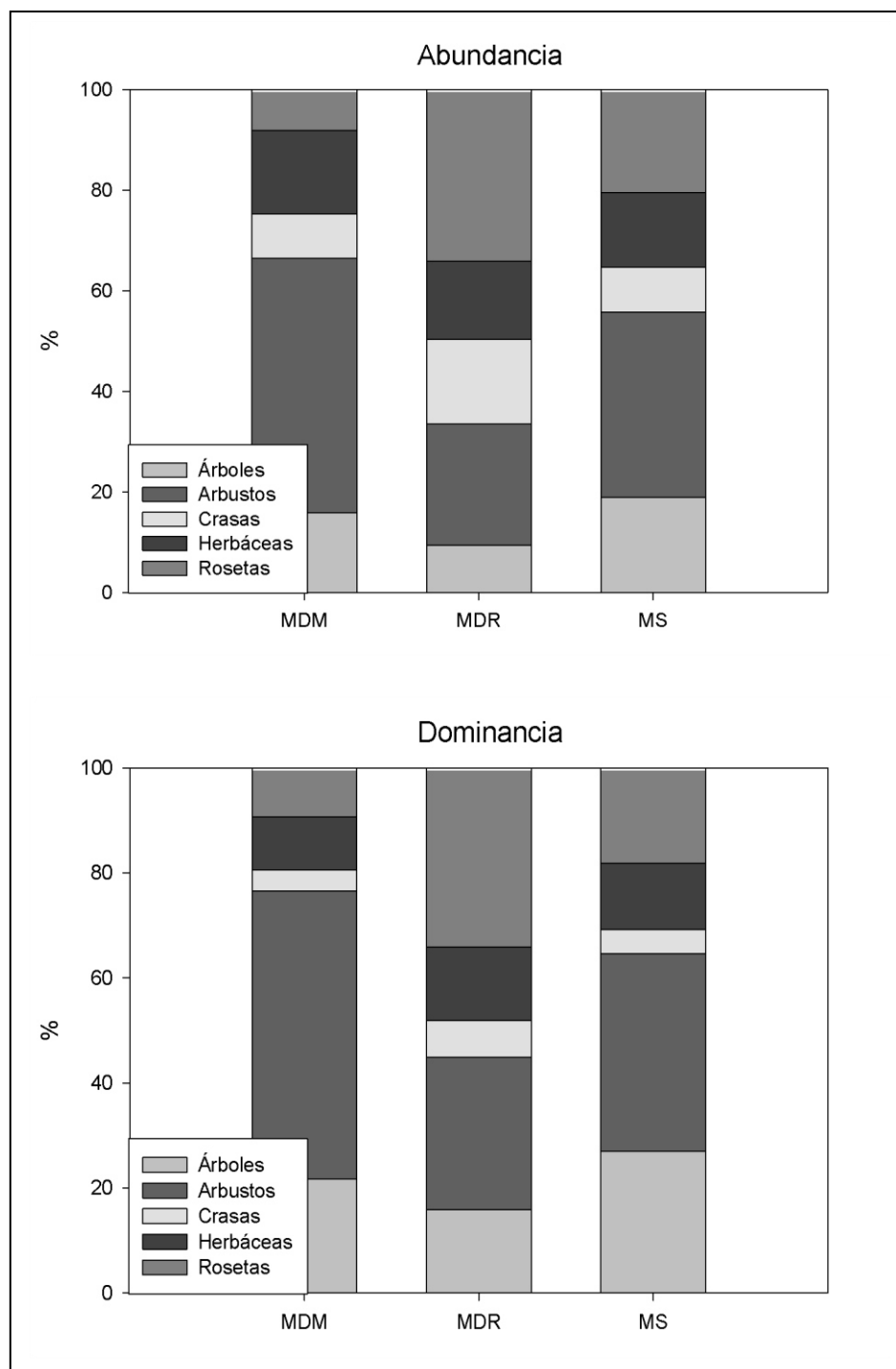
del MDM y MSM presentó un 52.19% de similitud, mientras que el MDR presentó un 51.71% de similitud con el resto de los matorrales (figura 4).



**Figura 4.-** Dendrograma de similitud-disimilitud (Bray-Curtis) muestra la presencia ausencia de especies vegetales.

#### **II.7.5. Formas vitales.**

La representación de las diferentes formas vitales en los tres tipos de matorrales estudiados ofreció diferencias notables entre ellos atendiendo tanto a la abundancia como a la dominancia (figura 5). El MDM mostró una abundancia y una dominancia superior al 50% para los arbustos. El MDR por su parte, presentó más del 50% de abundancia en el conjunto de formas vitales rosetas y crasuláceas (34.1 y 16.9%, respectivamente), aunque la dominancia de estas últimas descendió hasta el 7.0%. Por último, las diferentes formas vitales en el MSM ofrecieron valores intermedios a los observados en los otros dos matorrales, destacando el 36.8 y 20.5% en abundancia relativa de las arbustivas y rosetas, respectivamente. Las herbáceas no fueron características de ninguno de los tres tipos de matorral, mostrando rangos de variación en los valores de abundancia y dominancia relativa muy estrechos (14.8-16.6% y 10.2-14.1%, respectivamente).



**Figura 5.-** Abundancia y dominancia relativas de las diferentes formas vitales en los tres tipos de matorrales estudiados.



## II.8. DISCUSIÓN

Los resultados observados muestran que la composición y estructura de los matorrales evaluados presentaron diferencias significativas. El MDR es el que presenta una condición de mayor abundancia (N/ha), donde destaca la alta presencia de 11 especies correspondientes a los géneros *Agave* (3 especies), *Coryphanta* (3), *Echinocereus* (3) y *Mammillaria* (2). Estas especies son altamente abundantes en la zona ya que presentan un metabolismo ácido típico de las crasuláceas (CAM), las cuales subsisten en condiciones extremas de calor y humedad (Andrade et al., 2007).

Las coberturas registradas en la investigación oscilan entre los 1716 m<sup>2</sup>/ha (MDR) y los 3730 m<sup>2</sup>/ha (MSM). Estos valores muestran que son ecosistemas con escasa cobertura, donde dominan las áreas abiertas desprovistas de vegetación. Los valores de cobertura de copa registrados en esta investigación son bajos (MDM=34.39%; MSM=37.30%; MDR=17.16%) comparados con otros matorrales de la región. Así, varios trabajos han observado coberturas superiores al 100%, es decir, con superposición de copas, en matorrales espinosos y submontanos del noreste de México (Alanís et al., 2008; Canizales et al., 2009; Jiménez et al., 2012; Jiménez et al., 2013). Estos mismos trabajos reportaron valores similares de riqueza y diversidad  $\alpha$  a los observados en nuestro trabajo, poniendo de manifiesto la importancia de estos matorrales desde el punto de vista de reservas de biodiversidad.

Se puede identificar una serie de especies clave y formas vitales como características de los distintos tipos de matorral. En un extremo se puede encontrar el MDM en el que las formas arbóreas y, sobre todo, arbustivas presentan clara dominancia sobre el resto. En el otro extremo, el MDR está caracterizado principalmente por las rosetas y crasuláceas, mientras que el MSM se sitúa en un punto intermedio con alta representación tanto de rosetas como de arbustos. El MDR es la comunidad que se encuentra a una mayor altitud, y la dominancia de las rosetas sobre el resto de formas vitales puede estar relacionada

a este hecho y a la capacidad de esta forma vital de aprovechar la humedad ambiental como fuente de agua alternativa a la precipitación (Martorell y Ezcurra 2009). Este hecho se corrobora con lo que se ha mencionado, que la zona presenta un descenso en la precipitación a medida que se asciende en altitud, por lo que las plantas establecidas a mayor altitud deben ser más eficaces en el uso del agua, con adaptaciones fisiológicas y morfológicas.

*Berberis trifoliolata*, principalmente, y *P. glandulosa* son las dos especies cuya presencia en mayor medida determina la comunidad de MDM. Estas dos especies a menudo se encuentran asociadas ya que *P. glandulosa* puede servir como especie facilitadora para el establecimiento bajo su copa de arbustos, como *B. trifoliolata* (Barnes y Archer, 2009). Además, el tipo de suelo del MDM favorece el desarrollo de clusters de mayor tamaño que *P. glandulosa* y la especie facilitada (Archer, 1995). Por su parte, el MSM está caracterizado por la presencia de *P. remota*. No obstante, todas las zonas objeto del presente estudio se encuentran fuera del rango altitudinal de esta especie (Eguiluz, 1982) y esta puede ser la causa de su limitado desarrollo tanto en abundancia como en dominancia.

De esta investigación se derivan algunos aspectos relevantes: 1) los tres tipos de matorrales evaluados presentaron diferencias significativas en su densidad y cobertura, 2) presentan una similitud media (diversidad  $\beta$ ) en su composición vegetal, y 3) muestran similitud en su riqueza y diversidad  $\alpha$ . La información generada en esta investigación es de gran importancia, ya que cuantifica variables de la composición y estructura vegetal de los matorrales que se distribuyen en el Valle de Santa Catarina, con el objetivo de elegir las especies más adecuadas en los programas de rehabilitación y restauración ecológica que actualmente se desarrollan en esta localidad.

## II.9. Literatura citada

- Boisvenue, C. y Running, S.W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5), 862–882.
- Thomas, D.S.G. (2011). Arid zone geomorphology: process, form and change in drylands. Oxford, Reino Unido: John Wiley & Sons Inc.
- Valiente A., Bolongaro, A., Briones, O., Ezcurra, E., Rosas, M., Nunez, H., Barnard, G. y Vazquez, E. (1991). Spatial Relationship between Cacti and Nurse Shrubs in a Semi-Arid Environment in Central Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 2(1), 15-20.
- FAO. 2006. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005: Hacia la ordenación forestal sostenible.*: Montes, Roma: Estudio FAO 147.
- Huerta, F. M. y García, E. (2004). Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: Implicaciones para la conservación. *Interciencia*, 29(8), 435-441.
- Jiménez, J., Alanís, E., González, M.A., Aguirre, O.A. y Treviño, E.J. (2013). Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 58(3), 299–304.
- Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., Jurado, E. y González, M. (2008). Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Ciencia UANL*, 11(1), 56-62.
- Correa, J. B. (1996). Evaluación y Cuantificación de los Cambios del Uso del Suelo Mediante Imágenes de Satélite en los Municipios de Linares y Hualahuises. Tesis de maestría no publicada, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Nuevo León, México.
- Jiménez, J., Alanís, E., Ruiz, J. L., González, M. A., Yerena, J. I. y Alanís, G. J. (2012). Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*, 15(2), 66-71.

- Challenger, A. y Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En J. Sarukhán, R. Dirzo, R. González y I.J. March (Ed.) *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 37-73) México: CONABIO.
- Velázquez, A., Maas, J.F., Bocco, G. y Ezcurra, E. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21– 37.
- Palacio, J.L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J.F., Takaki, F. Victoria, A., Luna, L., Gómez, G., López, J., Palma, M., Trejo, I., Peralta, A., Prado, J., Rodríguez, A., Mayorga, R., y González, F. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional. *Investigaciones Geográficas (UNAM)*, 43, 183–203.
- Villarreal, J.A. y Encina, J. (2005). Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana*, 70: 1–46.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (2000). *Regiones terrestres prioritarias*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Zamora, F., Cornelius, S., Pitt, J., Glen, E., Nagler, P., Moreno, M., García, J., Hinojosa, O., De la Garza, M. y Parra, I. (2005). *Conservation Priorities in the Colorado River Delta, Mexico and the United States*. Preparado por: Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de Conservación Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo y World Wildlife Fund-Gulf of California Program.
- Estrada, E., Scott, L., Villareal, J.A., Jurado, E., Cotera, M., Cantú, C. y García, J. (2010). Clasificación de los pastizales del Noreste de México asociados con perrito de las praderas (*Cynomys mexicanus*): diversidad y endemismo de especies. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(2), 401-416.
- Ugalde J., Granados, D. y Sánchez, A. (2008). Sucesión en el Matorral Desértico de *Larrea tridentata* (DC.) COV. En la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México. *Tierra Latinoamericana*, 26(2), 153 – 160.

- CONABIO. (1997). *Provincias biogeográficas de México*. Escala 1: 4 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- INEGI. (1980). *Carta de suelos y vegetación 1:250,000 G12-3*. México D.F.: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- García, E. (1987). *Modificaciones al sistema de Clasificación climática de Köeppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mueller Dombois, D. y Ellenberg. H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Nueva York, EUA: John Wiley & Sons Inc.
- Magurran, A.E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford, Inglaterra: Blackwell Publishing Company.
- Clifford, H.T. y Stephenson, W. (1975). *An introduction to numerical classification*. New York, EUA: Academic Press.
- Shannon, C.E. y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, EUA: University of Illinois Press.
- Bray, J.R. y Curtis, J.T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27:325-349.
- Mcaleece, N., Lamshead, P., Paterson, G. y Cage, J. (1997). *Biodiversity Professional .2.0. Natural History Museum; The Scottish Association for Marine Science*. Recuperado el 08 de mayo del 2012, de <http://www.sams.ac.uk/research/software/software/?searchterm=Biodiversity%20Pro>.
- Aragón, E., Garza, A., González, M.S. y Luna, I. (2010). Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho El Duranguense, en la Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 771-787.
- Moreno C.E., Barragan, F., Pineda E. y Pavón, N.P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre

- comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 1249-1261.
- Zacarías, L.E., Cornejo, G., Cortés, J., González, N., y Ibarra, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 854-869.
  - Alanís, E., Jiménez, J., Valdecantos, A., González, M.A., Aguirre, O.A. y Treviño, E.J. (2012). Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus-Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1208-1214.
  - Canizales, P.A., Alanís, E., Aranda, R., Mata, J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J. I. y Ruiz, M.G. (2009). Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 115-120.
  - Andrade, J.L., De la Barrera, E., Reyes, C., Ricalde, M.F., Vargas, G. y Cervera, J.C. (2007). El Metabolismo Acido de las crasuláceas; diversidad, fisiología ambiental y productividad. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 81, 37-50.
  - Martorell C. y Ezcurra, E. (2009). Rosette scrub occurrence and fog availability in arid mountains of Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 13, 651-662.
  - Barnes, P.W. y Archer, S. (2009). Tree-shrub interactions in a subtropical savanna parkland: competition or facilitation? *Journal of Vegetation Science*, 10, 525-536.
  - Archer S.R. (1995). Tree dynamics in a *Prosopis*-thorn scrub savanna parkland: Reconstructing the past and predicting the future. *Ecoscience*, 2, 83–99.
  - Eguiluz, T. (1982). Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal*, 38 (7), 30-44.

### **CAPÍTULO III**

## **ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DEL MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO DEL NORESTE DE MÉXICO.**



**En evaluación como: Mata, J.M.; Treviño, E.J.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Alanís, E.; Foroughbackhch, R.; Mora, A. 2014. Estructura y composición florística del matorral desértico rosetófilo del Noreste de México. CIENCIA UANL**

### **III. Estructura y composición florística del matorral desértico rosetófilo del Noreste de México.**

#### **III.1. Resumen**

La presente investigación evalúa la estructura y composición de la vegetación en un matorral desértico rosetófilo del noreste de México. Se establecieron 152 sitios de muestreo de 10 x 20 m. Se registraron 15 especies leñosas, 12 suculentas y 2 herbáceas, pertenecientes a 11 órdenes, 14 familias, 28 géneros y 35 especies de plantas vasculares. La familia con mayor presencia fue Cactaceae con 16 especies y el género mejor representado fue Opuntia. La información generada profundizará en el conocimiento ecológico de este ecosistema y proporcionará importantes elementos a considerar en la toma de decisiones de gestión de estos ambientes. Así como, resaltar la importancia de conservar y manejar sustentablemente este ecosistema que presenta altos valores de riqueza y diversidad de especies.

**Palabras clave:** Matorral, Rosetófilo, Semiárido.

#### **III.2. Abstract**

In this research the structure and floristic composition of a rosette shrubland community of northeastern Mexico were evaluated. 152 of 10 × 20 m. Fifteen woody species, 12 succulents and 2 grasses, were recorded, belonging to 11 orders, 14 families, 28 genera and 35 species of vascular plants. The family Cactaceae records more presence with 16 species. Its genus best represented with four species is Opuntia. The information generated will profound in the ecological knowledge of this ecosystem and will provide important elements to consider in the decisions taken on the management of these environments. As well as, highlight the importance of conserving and sustainably manage this ecosystem, which has high values of species richness and diversity.

**Key words:** Shrub, rosette, semi-arid.



### **III.3. Introducción.**

El matorral xerófilo es el ecosistema más ampliamente distribuido en las zonas áridas y semiáridas de México (Rzedowski 1978, Palacio et al. 2000, García y Jurado 2008, Jiménez et al. 2012). Lamentablemente, este ecosistema ha sido fuertemente afectado desde el punto de vista ecológico. En las últimas décadas, las diferentes actividades silvoagropecuarias han causado la pérdida de cobertura vegetal (Velázquez et al. 2002) y cambios en la estructura y la composición florística en este tipo de vegetación (Estrada et al. 2004, Alanís et al. 2008, Jiménez et al. 2009, Foroughbakhch et al. 2009). A pesar de esta situación, paradójicamente las investigaciones sobre esta comunidad no han sido muy exhaustivas. Aun así, distintos tipos de matorrales del país han sido estudiados en mayor o menor grado, como es el caso del matorral desértico micrófilo (Ugalde et al. 2008), del matorral submontano (Canizales et al. 2009, Estrada et al. 2012) y del matorral espinoso tamaulipeco.

En el caso particular del matorral desértico rosetófilo, los trabajos han sido aún más escasos, aunque comúnmente se le menciona o describe como parte de trabajos florísticos o vegetacionales (Fernández y Colmenero 1997, Sánchez y Granados 2003, Huerta y García 2004, González et al. 2007, Giménez y González 2011). Hasta ahora, algunos de los pocos antecedentes específicos sobre esta comunidad vegetal son el de (Treviño y Hernández 2000) para Querétaro y el de (Martorell y Ezcurra 2002) en Baja California Sur, Querétaro, Hidalgo y Puebla. Para el noreste de México no se encontraron estudios enfocados a describir exclusivamente los matorrales desérticos rosetófilos, a pesar de que en esta región tienen una amplia distribución y han sido catalogados como prioritarios por su alto nivel de endemismo (González et al. 2007, Alanís et al. 2011, Sosa y Nova 2012). Bajo este contexto, es evidente la importancia de conocer el estado actual de este tipo de comunidades que poseen una diversidad y estructura muy peculiares.

Tanto la estructura, como la diversidad y la composición florística, son aspectos esenciales que describen la situación de las comunidades vegetales (Del Río et al. 2003). De hecho, la composición florística de un sistema ecológico hace referencia a la distribución de las principales características de la vegetación, teniendo especial importancia la distribución de las especies por clases de dimensión (Gadow et al. 2001). Además, el conocimiento de la diversidad y composición florística de cualquier comunidad vegetal, constituye una condición básica para la toma de decisiones sobre el manejo sustentable de sus recursos naturales (Alanís et al. 2008, Jiménez et al. 2012).

Los objetivos planteados en la presente investigación fueron: 1) estimar la riqueza y la diversidad  $\alpha$  de la vegetación [plantas suculentas, arbustivas, arbóreas ( $\geq 0.5$  cm de diámetro)] de un matorral desértico rosetófilo en el noreste de México; 2) estimar las variables estructurales de abundancia ( $ARI$ ), dominancia ( $DR_i$ ), frecuencia ( $FR_i$ ) e índice de valor de importancia ( $IVI$ ); y 3) caracterizar el estrato arbóreo mediante la determinación de la densidad de individuos y el área de copa. La información generada profundiza en el conocimiento ecológico de este ecosistema y proporciona importantes elementos a considerar en la toma de decisiones de gestión de estos ambientes.

### **III.4. Materiales y métodos**

*Área de estudio.* La presente investigación se desarrolló en una comunidad de matorral desértico rosetófilo del noreste de México, específicamente en el municipio de Mina, Nuevo León, con las coordenadas geográficas 26°04'22" latitud norte y 100°35'28" de longitud oeste, y a una altitud de 650 m.s.n.m. (Mapa 1).



los arbustos y árboles  $\geq 0.5\text{cm}$  de diámetro basal ( $d_{0.10}$ ) y de todas las suculentas. A todos los individuos se les efectuaron mediciones de diámetro de copa ( $d_{\text{copa}}$ ) a través de una cinta métrica, midiendo el espacio ocupado en sentido norte-sur y este-oeste y a los arbustos y árboles se les midió el diámetro basal ( $d_{0.10}$ ) mediante un vernier digital. Se recolectaron ejemplares de todas las especies, las cuales posteriormente fueron identificadas y depositadas en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

*Análisis de datos.* Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) y para la diversidad de especies el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Shannon y Weaver 1949), mediante las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln(N)} \quad (1)$$

Donde,  $S$  es el número de especies presentes y  $N$  es el número total de individuos.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln(p_i) \quad (2)$$

$$p_i = n_i / N$$

Donde,  $p_i$  resulta de la fracción del número total de individuos ( $N$ ) correspondiente a cada especie ( $n_i$ ).

Para cada especie se determinó su abundancia, de acuerdo al número de individuos ( $N/\text{ha}$ ), su dominancia en función de la cobertura de copa ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ), y su frecuencia con base en su presencia en las parcelas de muestreo. Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado para cada especie, denominado Índice de Valor de Importancia ( $IVI$ ), que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mueller y Ellenberg 1974, Magurran 2004).

### III.5. Resultados.

**Diversidad.** Se registraron 15 árboles y arbustos, 16 plantas suculentas y 4 hierbas pertenecientes a 11 órdenes, 14 familias, 28 géneros y 35 especies de plantas vasculares (Tabla III.1). La familia con más especies fue Cactaceae con 16 especies y el género con mejor representado fue *Opuntia* con cuatro especies. Seis especies de plantas se encuentran bajo estatus de protección de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT<sup>1</sup> 2010): *Amoreuxia wrightii*, *Astrophytum capricorne*, *Thelocactus bicolor*, *Epithelantha micromeris*, *Lophophora williamsii* y *Ferocactus hamatacanthus*, la primera con el estatus en peligro de extinción (P), las siguientes dos con estatus de amenazadas (A) y las últimas dos sujetas a protección especial (Pr). Así mismo, cuatro especies son endémicas del territorio mexicano: *Astrophytum capricorne*, *Coryphantha salinensis*, *Ferocactus hamatacanthus*, y *Opuntia microdasys*. De las cuatro formas de crecimiento registradas, las plantas suculentas fueron las más diversas, con 18 especies (Tabla III.2). La riqueza específica fue de 35 especies, con un valor del índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) de 4.62. De acuerdo con el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), la comunidad evaluada presentó un valor de  $H'=3.13$ .

**Tabla 1.-** Nombre científico, formas de crecimiento y familias de las especies registradas en el área de estudio.

Especie	Forma de Crecimiento	Familia
<i>Acacia amentacea</i> DC.	Arbusto	Fabaceae
<i>Acacia greggii</i> A. Gray.	Arbusto	Fabaceae
<i>Agave americana</i> L.	Suculenta	Agavaceae
<i>Agave lecheguilla</i> Torr.	Suculenta	Agavaceae
<i>Amoreuxia wrightii</i> A. Gray.	Herbácea	Bixaceae
<i>Astrophytum capricorne</i> (A. Dietr.) Britton & Rose	Suculenta	Cactaceae
<i>Castela erecta</i> subsp. <i>texana</i> (Torr. & A. Gray) Cronquist	Arbusto	Simaroubaceae
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Arbusto	Ulmaceae
<i>Condalia warnockii</i> M.C. Johnst.	Arbusto	Rhamnaceae
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	Arbusto	Boraginaceae
<i>Coryphantha nickelsiae</i> (K. Brandegee) Britton & Rose	Suculenta	Cactaceae
<i>Coryphantha salinensis</i> (Poselg.) A. D. Zimmerman ex Dicht y A. Lüthy	Suculenta	Cactaceae
<i>Coryphantha macromeris</i> (Engelm.) Lem.	Suculenta	Cactaceae
<i>Cylindropuntia imbricata</i> (Haw.) F.M. Knuth	Suculenta	Cactaceae

<sup>1</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Especie	Forma de Crecimiento	Familia
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i> (DC.) F.M. Knuth	Suculenta	Cactaceae
<i>Echinocactus horizonthalonius</i> Lem.	Suculenta	Cactaceae
<i>Echinocereus pectinatus</i> (Scheidw.) Engelm.	Suculenta	Cactaceae
<i>Epithelantha micromeris</i> (Engelm.) F.A.C. Weber ex Britton & Rose	Suculenta	Cactaceae
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele	Arbusto	Fabaceae
<i>Ferocactus haematacanthus</i> (Monv. ex Salm-Dyck) Bravo ex Backeb. & F.M.Knuth	Suculenta	Cactaceae
<i>Fouquieria splendens</i> Engelm.	Arbusto	Fouquieriaceae
<i>Guaiacum angustifolium</i> Engelm.	Arbusto	Zygophyllaceae
<i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray) Benth.	Arbusto	Rutaceae
<i>Jatropha dioica</i> Cerv.	Arbusto	Euphorbiaceae
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Arbusto	Rhamnaceae
<i>Larrea tridentata</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Coville	Arbusto	Zygophyllaceae
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) J. M. Johnst.	Arbusto	Scrophulariaceae
<i>Lophophora williamsii</i> (Lem. ex Salm-Dyck) J. M. Coult.	Suculenta	Cactaceae
<i>Neolloydia conoidea</i> (DC.) Britton & Rose	Suculenta	Cactaceae
<i>Opuntia engelmannii</i> (Salm-Dyck) ex Engelm.	Suculenta	Cactaceae
<i>Opuntia microdasys</i> (Lehm.) Pfeiff.	Suculenta	Cactaceae
<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Árbol	Fabaceae
<i>Sclerocactus scheeri</i> (Salm-Dyck) N.P Taylor.	Suculenta	Cactaceae
<i>Thelocactus bicolor</i> (Galeotti) Britton & Rose	Suculenta	Cactaceae
<i>Viguiera stenoloba</i> S.F. Blake	Herbácea	Asteraceae

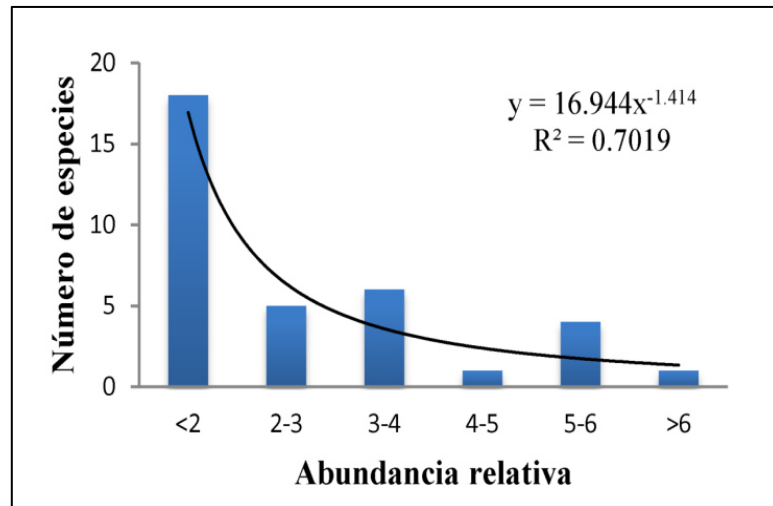
## II.6. Parámetros Ecológicos.

La comunidad evaluada presenta una densidad de 18,626 N/ha, siendo *Agave lecheguilla*, *Leucophyllum frutescens* y *Larrea tridentata* las más abundantes. La cobertura de copa es de 5192 m<sup>2</sup>, lo que representa una cobertura vegetal del 51.92%. *Viguiera stenoloba*, *Leucophyllum frutescens* y *Larrea tridentata* fueron las que presentaron mayor cobertura, sumando un 43.82% de la cobertura de la comunidad. Ninguna especie se presentó en todos los sitios de muestreo. Las especies más frecuentes fueron *Agave lecheguilla* y *Larrea tridentata*. La especie que presentó mayor peso ecológico fue *Agave lecheguilla*. Esta especie presentó los valores más altos en abundancia y frecuencia, pero bajos de cobertura, ya que es una especie de porte menor.

**Tabla 2.** Abundancia, dominancia, frecuencia (valores absolutos y relativos) e índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies evaluadas. Especies ordenadas por valores del IVI.

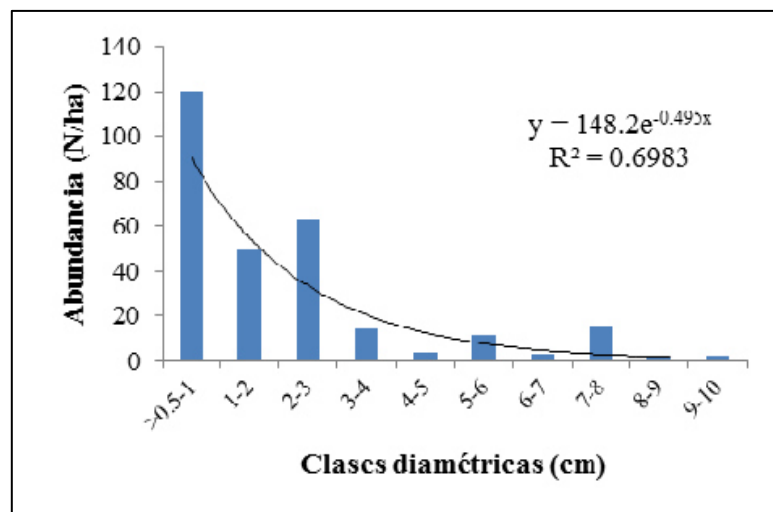
Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	N/ha	AR <sub>i</sub>	m <sup>2</sup> /ha	DR <sub>i</sub>	Absoluta	FR <sub>i</sub>	
<i>Agave lecheguilla</i>	3488 ± 224	18.73	998.11 ± 65.5	0.98	89.51	8.69	9.47
<i>Larrea tridentata</i>	1062 ± 58	5.7	663.06 ± 42.4	12.77	86.84	8.43	8.97
<i>Viguiera stenoloba</i>	598 ± 33	3.21	846.74 ± 58.1	16.31	53.98	5.24	8.25
<i>Fouquieria splendens</i>	465 ± 54	2.5	764.91 ± 95.6	14.73	15.14	1.47	6.23
<i>Leucophyllum frutescens</i>	1073 ± 35	5.76	292.76 ± 28.7	5.64	71.08	6.90	6.10
<i>Cordia boissieri</i>	277 ± 13	1.49	450.64 ± 38.3	8.68	72.41	7.03	5.73
<i>Acacia amentacea</i>	714 ± 30	3.83	407.65 ± 30.4	7.85	37.49	3.64	5.11
<i>Acacia greggii</i>	576 ± 26	3.09	288.40 ± 16.1	5.55	66.44	6.45	5.03
<i>Opuntia microdasys</i>	806 ± 35	4.33	2.17 ± 0.3	0.04	55.93	5.43	3.27
<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	616 ± 23	3.31	8.57 ± 2.2	0.17	57.27	5.56	3.01
<i>Agave americana</i>	293 ± 13	1.57	68.44 ± 12.1	1.32	61.19	5.94	2.94
<i>Celtis pallida</i>	379 ± 37	2.03	272.46 ± 29.7	5.25	14.52	1.41	2.90
<i>Helietta parvifolia</i>	276 ± 29	1.48	316.33 ± 41.2	6.09	11.23	1.09	2.89
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	375 ± 23	2.01	177.99 ± 15.1	3.43	32.24	3.13	2.86
<i>Prosopis glandulosa</i>	150 ± 7	0.81	118.94 ± 9.1	2.29	56.65	5.50	2.86
<i>Jatropha dioica</i>	941 ± 33	5.05	5.06 ± 0.9	0.1	32.86	3.19	2.78
<i>Opuntia engelmannii</i>	369 ± 18	1.98	45.17 ± 5.8	0.87	51.30	4.98	2.61
<i>Castela erecta</i> subsp. <i>texana</i>	273 ± 16	1.47	106.35 ± 11.5	2.05	34.20	3.32	2.28
<i>Ferocactus haemathacantus</i>	989 ± 46	5.31	1.26 ± 0.6	0.02	7.93	0.77	2.03
<i>Eysenhardtia texana</i>	357 ± 39	1.92	173.93 ± 24.3	3.35	4.64	0.45	1.90
<i>Lophophora williamsii</i>	744 ± 100	3.99	4.33 ± 0.5	0.08	16.48	1.60	1.89
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	389 ± 21	2.09	19.06 ± 3.8	0.37	21.01	2.04	1.50
<i>Condalia warnockii</i>	331 ± 21	1.78	54.60 ± 11.2	1.05	14.52	1.41	1.41
<i>Coryphantha nickelsiae</i>	585 ± 146	3.14	4.44 ± 1.2	0.09	3.91	0.38	1.20
<i>Guaiacum angustifolium</i>	257 ± 23	1.38	23.26 ± 16.2	0.45	12.46	1.21	1.01
<i>Coryphantha</i> sp.	400 ± 84	2.15	1.22 ± 0.8	0.02	2.68	0.26	0.81
<i>Neolloydia conoidea</i>	262 ± 61	1.41	4.97 ± 3.4	0.1	7.93	0.77	0.76
<i>Epithelantha micromeris</i>	270 ± 44	1.45	2.12 ± 0.4	0.04	7.93	0.77	0.75
<i>Coryphantha salinensis</i>	283 ± 90	1.52	2.61 ± 0.6	0.05	4.64	0.45	0.67
<i>Sclerocactus scheeri</i>	242 ± 84	1.3	3.65 ± 2.6	0.07	4.64	0.45	0.61
<i>Thelocactus bicolor</i>	155 ± 32	0.83	3.06 ± 1.0	0.06	6.59	0.64	0.51
<i>Amoreuxia wrightii</i>	178 ± 59	0.96	4.71 ± 2.2	0.09	4.64	0.45	0.50
<i>Echinocereus pectinatus</i>	210 ± 45	1.13	0.73 ± 0.3	0.01	3.30	0.32	0.49
<i>Echinocactus horizonthalonius</i>	143 ± 11	0.77	1.18 ± 0.5	0.02	5.25	0.51	0.43
<i>Astrophytum capricorne</i>	100 ± 0.1	0.54	0.78 ± 0.2	0.02	1.34	0.13	0.23
<b>SUMA</b>	<b>18,626</b>	<b>100</b>	<b>5,192.66</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

El patrón de la abundancia relativa de las especies en el área de estudio presenta un alto número de especies (57%) que están poco representadas (<2%), disminuyendo progresivamente hasta las que presentan más de un 6% de abundancia relativa, mostrando una línea de tendencia potencial negativa para las especies menor representadas (grafico 1 ).



**Grafico 1.** Patrón de la abundancia relativa de las especies en el área de estudio.

El grafico 2 muestra la densidad de individuos por hectárea de acuerdo a las clases diamétricas registradas en el estudio. Se observa una línea de tendencia exponencial, mostrando que existe un decremento en la densidad de individuos conforme aumenta el diámetro de los mismos, siendo la clase diamétrica >0.5-1 cm la que presentó mayor número de individuos con un 42%. Lo anterior indica que existe una gran cantidad de individuos de porte menor y un pequeño número de individuos (1%) con diámetros >8 cm.



**Grafico 2.** Densidad de individuos de acuerdo a clases diamétricas en el área de estudio.



### III.7. Discusión

Las 35 especies registradas indican una alta diversidad tomando en cuenta las condiciones áridas de la zona. Concretamente los resultados demuestran que el ecosistema de estudio presenta altos valores de riqueza específica y diversidad, comparado con otras comunidades de zonas áridas de Nuevo León como el matorral submontano de la Sierra Madre Oriental analizado por (Canizalez et al. 2009). La mayor preponderancia de las cactáceas y otras suculentas en el área estudiada se entiende por la afinidad de esta familia por las zonas áridas de México (Rzedowski 1978, Hernández et al. 2004), como ocurre en otras regiones con presencia de matorrales rosetófilos como los de Querétaro (Treviño et al. 2000) o los de Tehuacán en Puebla (Martorell y Ezcurra 2002). La presencia de especies endémicas y bajo estatus de protección le da especial relevancia a la zona (González et al. 2007, Alanís et al. 2011, Sosa y De-Nova 2012), lo que concuerda con lo señalado por (González et al. 2007, Alanís-Flores et al. 2011, Sosa y De-Nova 2012) para los matorrales rosetófilos de Nuevo León.

La dominancia de la especie *Agave lecheguilla* era esperada como especie rosetófila característica de este tipo de comunidades semiáridas y su reproducción asexual (Reyes et al. 2000), estos resultados concuerdan con otros sitios similares, como la zona de Querétaro conocida como Sierra El Doctor, la Barranca de Meztlán en Hidalgo (Martorell y Ezcurra 2002) y algunas porciones de San Luis Potosí (Rzedowski 1966). Así mismo, la presencia de *Larrea tridentata* y *Fouquieria splendens* coincide con el matorral xerófilo descrito para Zacatecas (Rzedowski 1957). Para la zona de Nuevo León, específicamente en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos ubicada hacia el noroeste de Monterrey, se han registrado también con presencia destacada *Agave lecheguilla*, *Larrea tridentata*, *Viguiera stenoloba* y *Fouquieria splendens* (Carmona et al. 2008).

El patrón de la abundancia relativa de las especies en el área de estudio mostró que existe un alto número de especies poco representadas de manera particular de porte arbustivo. Esta información concuerda con lo reportado por (Ugalde et al. 2008, García y Jurado 2008, Canizales et al. 2009) en matorrales del noreste de México. La distribución de la densidad de individuos de acuerdo con las clases diamétricas en el área de estudio concuerda con los resultados de (Jiménez et al. 2012), quienes evaluaron un matorral espinoso del noreste de México que mostró un decremento en la densidad de individuos conforme aumenta el diámetro de los mismos.

### III.8. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se destacan las siguientes conclusiones: 1) la comunidad estudiada presenta una alta riqueza y diversidad de especies, 2) la familia representada con más especies en la comunidad estudiada fue Cactaceae con 16 especies y el género mejor representado fue *Opuntia* con cuatro especies, 3) existen seis especies que se encuentran catalogadas en algún estatus de protección de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 4) las especies con mayor importancia estructural fueron *Agave lecheguilla*, *Larrea tridentata*, *Viguiera stenoloba* y *Fouquieria splendens*.\*

### III.9. Literatura citada

- Jersy Rzedowski. *La vegetación de México*. Vol., T., p. o pp (consultadas). México, D.F. Limusa. 1978. p. (número de páginas)
- José Luis Palacio-Prieto, G. Bocco, Velázquez A., J-F. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, Palma-Muñoz M., Trejo-Vázquez I., Peralta-Higuera A., Prado-Molina J., Rodríguez-Aguilar A., Mayorga-Saucedo R. y González-Medrano F. “La condición actual de los recursos forestales en México”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* Vol. 43. pp. 183-203. 2000.

- Jorge García-Hernández y Enrique Jurado. “Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N. L., México”. *Ra Ximhai* Vol. 4. Ed. 1. pp. 1-21. 2008.
- Javier Jiménez, Eduardo Alanís, Juan L. Ruiz, Marco A. González., J. Israel Yerena y Glafiro Alanís. “Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México”. *Ciencia UANL*. Vol. 15. Ed. 2. pp. 66-71. 2012.
- Velázquez, A., Mas J.F., Díaz-Gallegos J.R., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P.C., Castro R., Fernández T., Bocco G. y Palacio J.L. “Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México”. *Gaceta Ecológica INE* Vol. 62. pp. 21–37. 2002.
- Eduardo Estrada, Carmen Yen, Alfonso Delgado y José A. Villareal. “Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México”. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica Universidad Nacional Autónoma de México* Vol. 75. Ed. 1. pp. 73-85. 2004.
- Eduardo Alanís, Javier Jiménez, Oscar A. Aguirre, Javier E. Treviño, Enrique Jurado y Marco A. González. “Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco”. *Ciencia UANL* Vol.10. pp. 56-62. 2008.
- Javier Jiménez, Eduardo Alanís, Oscar A. Aguirre, Marisela Pando y Marco A. González. “Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco”. *Madera y Bosques* Vol. 15. Ed. 3. pp. 5-20. 2009.
- Foroughbakhch R., Hernández-Piñero J.L., Alvarado-Vázquez M.A., Céspedes-Cabriales E., Rocha-Estrada A. y Cárdenas-Ávila M.L. “Leaf biomass determination on woody shrub species in semiarid zones”. *Agroforestry Systems*. Vol. 77. pp. 181–192. 2009.
- Ugalde-Ávila J., Granados-Sánchez D. y Sánchez-González A. “Sucesión en el matorral desértico de *Larrea tridentata* (DC.) Cov. en la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México”. *TERRA Latinoamericana*. Vol. 26. Ed. 2. pp.153-160. 2008.

- P.A. Canizales-Velázquez, E. Alanís-Rodríguez, R. Aranda-Ramos, J.M. Mata-Balderas, J. Jiménez-Pérez, G. Alanís-Flores, J.I. Uvalle-Sauceda y M.G. Ruiz-Bautista. "Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México". *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Vol. 15. Ed. 2. pp.115-120. 2009.
- Eduardo Estrada-Castillón, José A. Villareal-Quintanilla, Enrique Jurado-Ybarra, César Cantú-Ayala, Mario A. García-Aranda, Jaime Sánchez-Salas, Javier Jiménez-Pérez y Marisela Pando-Moreno. "Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México". *Botanical Sciences*. Vol. 90. Ed. 1. pp. 37-52. 2012.
- Fernández-Nava R. y Colmenero-Robles J.A. "Notas sobre la vegetación y flora de San Joaquín, Querétaro, México". *Polibotánica*. Vol. 4. pp. 10-36. 1997.
- Sánchez-González A. y Granados-Sánchez D. "Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales". *TERRA Latinoamericana*. Vol. 21. Ed. 3. pp. 311-319. 2003.
- Huerta-Martínez F.M. y García-Moya E. "Diversidad de especies perennes y su relación con el ambiente en un área semiárida del centro de México: implicaciones para la conservación". *Interciencia*. Vol. 29. Ed. 8. pp. 431-441. 2004.
- González-Costilla O., Giménez-De Azcárate J., García-Pérez J. y Aguirre-Rivera J.R. "Flórula vascular de la Sierra de Catorce y territorios adyacentes, San Luis Potosí, México". *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 78. pp. 1-38. 2007.
- Giménez-De Azcárate J. y González-Costilla O. "Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México)". *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 94. pp. 91-123. 2011.
- Treviño-Carreón J. y Hernández-Sandoval L. 2000. Introducción a los matorrales rosetófilos de Querétaro, México. En: Simposio 2000, La investigación y el Desarrollo Tecnológico en Querétaro Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. (CONCYTEQ) 16-25p.

- Martorell, C. y Ezcurra E. "Rosette scrub occurrence and fog availability in arid mountains of Mexico". *Journal of Vegetation Science*. Vol. 13. pp. 651-662. 2002.
- González-Zamora A., Luna-Vega I., Villaseñor J.L. y Ruiz-Jiménez C.A. "Distributional patterns and conservation of species of Asteraceae (asters etc.) endemic to eastern Mexico: a panbiogeographical approach". *Systematics and Biodiversity*. Vol. 5. Ed. 2. pp. 135-144. 2007.
- Alanís-Flores G. J., Alvarado-Vázquez M. A., Ramírez-Freire L., Foroughbakhch-Pornavab R., y Velazco-Macías C. G. "Flora endémica de Nuevo León, México y estados colindantes". *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. Vol. 5. pp. 275-298. 2011.
- Sosa V. y De-Nova A. "Endemic angiosperm lineages in Mexico: hotspots for conservation". *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 100. pp. 293-315. 2012.
- Del Río M., Montes F., Cañellas I. y Montero G. "Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales". *Investigaciones Agrarias y Recursos Forestales*. Vol. 12. Ed. 1. pp.159-176. 2003.
- Gadow K.V., Real P. y Álvarez-González J.G. 2001. Modelización del crecimiento y la evolución de bosques. IUFRO World Series, Volumen 12. Viena.
- INEGI.1991.
- Alanís-Flores G. J., Cano-Y Cano G., Rovalo-Merino M. *Vegetación y flora de Nuevo León: una guía botánico-ecológica*. . Vol., T., p. o pp (consultadas). México. Impresora Monterrey, S.A. de C.V. 1996. p. (número de páginas)
- González-Medrano F. 2003. Las comunidades vegetales de México. INE-SEMARNAT. México.
- Shannon C.E., Weaver A.D. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinios Press, Urbana.
- Mueller-Dombois D. y Ellenberg H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley. Nueva York, E.U.A.
- Magurran A.E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing Company. E.U.A.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección):1-19, más Anexo normativo III. Jueves 30 de diciembre de 2010.
- Hernández H. M., Gómez-Hinostrosa C. y Goettsch B. "Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae". *Harvard Papers in Botany*. Vol. 9. Ed. 1. pp. 51-68. 2004.
- Reyes-Agüero J.A., Aguirre-Rivera J.R. y Peña-Valdivia C.B. "Biología y aprovechamiento de *Agave lecheguilla* Torrey". *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. Vol. 67. pp. 75-88. 2000.
- Rzedowski, J. 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina V. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- Jersy Rzedowski. "Vegetación de las partes áridas de los Estados de San Luis Potosí y Zacatecas". *La Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. Vol. 18. pp. 49-101. 1957.
- Carmona-Lara M.P., Foroughbakhch R., Flores-Valdés A., Alvarado M.A. y Guzmán-Lucio M.A. "Flora cactológica y especies asociadas en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos, Nuevo León, México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol. 79. pp. 307-323. 2008.



## **CAPÍTULO IV**

### **PRÁCTICAS DE REHABILITACIÓN EN UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO, AFECTADO POR EL ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO DE MATERIAL, EN EL NORESTE DE MÉXICO**



**Publicado como: Mata, J.M.; Treviño, E.J.; Jiménez, J.; Aguirre, O.; Alanís, E.; Foroughbakhch, R. 2014. Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido, afectado por el establecimiento de un banco de material, en el Noreste de México. Revista CIENCIA UAT, Área II. Biología y Química, ISSN 2007-7521. 8(2) 32-43 (Ene –Jun 2014)**

## **IV. Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido, afectado por el establecimiento de un banco de material, en el Noreste de México**

### **IV.1. Resumen**

El aprovechamiento de materiales a cielo abierto, representa un importante motor de desarrollo económico en el noreste de México, actividad que también ocasiona alteraciones ambientales en los ecosistemas en buen estado de conservación, como son, los cercanos a las mismas Áreas Naturales Protegidas, por lo cual, es necesario la integración de mecanismos de restauración en los procesos productivos. En la presente investigación se establecieron cuatro sitios de evaluación: (1) un área restaurada en el 2003; (2) un área restaurada en el 2008; (3) un sitio testigo en estado de abandono y; (4) un área natural, en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México. En las áreas restauradas se crearon taludes con pendiente de 30° y una exposición noreste, y se estableció un programa de reforestación con plantas nativas adultas. En el área testigo no se realizaron prácticas de reforestación y/o rehabilitación posterior a las prácticas de aprovechamiento, y en el área natural no hubo prácticas de aprovechamiento, sirviendo de ecosistema base. El análisis consistió en un muestreo vegetativo simple al azar con cinco repeticiones en cada área, registrándose la evolución para los factores suelo y vegetación en una escala de tiempo. Se encontró un total de 640 individuos, correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformados por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas. Se determinó que las prácticas de restauración de comunidades semiáridas, mediante la incorporación de individuos adultos y la adecuación del relieve, proveen condiciones favorables para la regeneración natural, acciones que promueven la colonización de otras especies en ambientes semiáridos.

**Palabras clave:** restauración, semiárido, taludes.



## **IV.2. Abstract**

Open pit mining represents an important economic development in northeastern Mexico; nevertheless this activity also brings environmental changes on well conserved ecosystems, especially those that take place near Natural Protected Areas (ANP by its initials in Spanish), reason why it's necessary to ingrate restoration mechanisms in the production processes. In this research four test sites were established: (1) an area restored in 2003; (2) an area restored in 2008; (3) a site in a state of abandonment and; (4) a natural area; in the municipality of Ramos Arizpe, Coahuila, Mexico. In the restored areas, slopes of 30° of inclination and a northeast exposure were created, as well as a reforestation program with adult native plants was established. In the witness area no reforestation and/or rehabilitation practices were performed, meanwhile in the natural area there were no use practices, being classified as an ecosystem baseline. There were a total of 640 individuals classified into 19 families and 39 species, composed by 14 woody plants, 16 succulents and 9 herbaceous. It was determined that restoration practices in semiarid communities, by incorporating tree adult species and the adequacy of slopes, provide favorable conditions for natural regeneration and are actions that promote colonization of other species in semiarid environments.

**Keywords:** restoration, semiarid, slopes.

## **IV.3. Introducción**

Las regiones semiáridas poseen una vasta riqueza de materiales de origen geológico que representan una alternativa económica para países en vías de desarrollo (Neri y Sánchez, 2010). En los últimos años se ha incrementado el aprovechamiento de recursos de caliza y arcilla, debido a la demanda de insumos para la construcción, situación que ha sido el motor para el desarrollo en las regiones rurales y actividades industriales en los núcleos urbanos (Ten-Kate y col., 2004). Sin embargo, existen problemas asociados a esta actividad, como lo son: la fragmentación de los ecosistemas por efecto del retiro de la cubierta vegetal y el abandono de estas áreas sin prácticas de rehabilitación (Josa y col., 2012;

Wassenaar y col., 2012), dicha fragmentación ocasiona la modificación del ecosistema a nivel regional y la pérdida de hábitat en zonas específicas de influencia y amortiguamiento, por lo que restringen el flujo natural y el intercambio genético de la flora y fauna silvestre (Jiménez y col., 2009; Rybicki y Hanski, 2013). Aunado a ello, la presencia de estos proyectos de restauración, ubicados en zonas en buen estado de conservación, como lo son las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), realza la importancia de la generación de conocimiento y divulgación de prácticas efectivas para la restauración y/o rehabilitación de estos ecosistemas en la planeación de los procesos de extracción, lo cual coadyuvará a la sustentabilidad de los recursos naturales y a la restitución de los servicios naturales que proveen (Kirmer y col., 2012).

Existen tratamientos de rehabilitación, que son comúnmente utilizados para recuperar la productividad de un área que ha sido aprovechada, en donde se cambia el uso y/o condición inicial del ecosistema. Las prácticas más comunes a nivel mundial son la siembra de leñosas (Mata y col., 2010), plantación de leñosas (Alanís y col., 2010), estabilización de taludes (Ginocchio y León, 2011) y las obras de retención del suelo (Myronidis y col., 2010). Dependiendo de algunos factores como del grado de afectación del área, la resiliencia del suelo y vegetación, y el recurso económico disponible, entre otros, se pueden realizar diferentes prácticas de restauración (Molina y col., 2012). Para determinar el grado de eficiencia de estas prácticas, es necesario evaluar periódicamente diferentes variables de los tratamientos, y compararlos con áreas afectadas sin restauración y sitios naturales sin afectación.

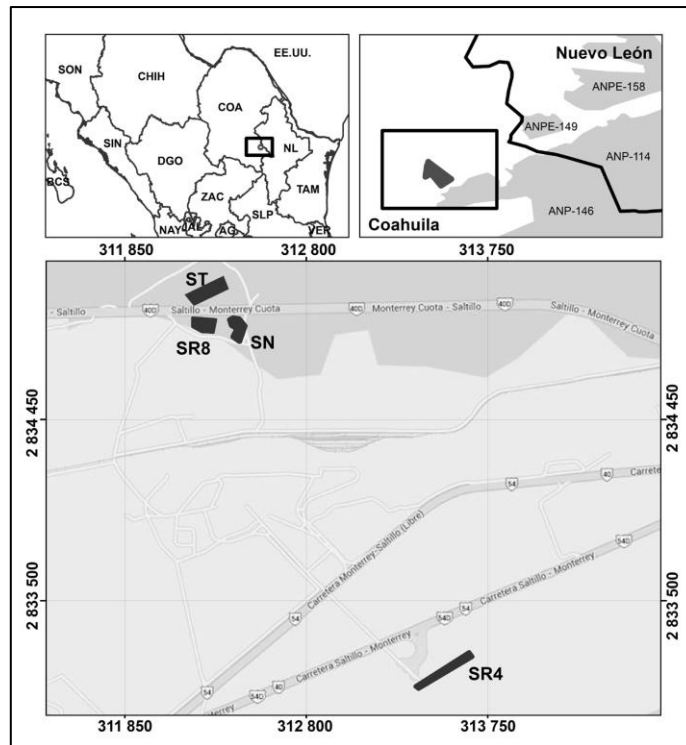
Para la presente investigación se evaluaron los efectos de las acciones realizadas en la rehabilitación de un ecosistema semiárido impactado por el aprovechamiento de materiales a cielo abierto. El objetivo del presente estudio fue cuantificar y relacionar las diferentes variables de la comunidad vegetal (abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, diversidad alfa y diversidad beta), con las variables edáficas (materia orgánica, macro y micronutrientes), en

áreas con diferente tiempo de restauración (8 y 4 años), contra un área sin actividades de restauración y un área contigua no afectada por actividades de aprovechamiento. Esta última, con el objeto de conocer la composición y estructura florística de la comunidad afectada.

#### **IV.4. Materiales y métodos**

##### **IV.4.1. Área de estudio**

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, en el noreste de México (Figura 1). Las coordenadas de ubicación son 25°37'12" latitud Norte y 100°53'22" de longitud Oeste. Según la clasificación de Köppen, el clima predominante es muy seco, semicálido (BWhw), con una temperatura media anual entre los 21 °C y 22 °C. Los tipos de suelos presentes son el Rcladeras E/2/L (Regosol calcárico + Rendzina / Lítico) y la precipitación media anual es de 200 mm a 300 mm. Presenta una altitud máxima de 1 280 msnm (CONAGUA, 2012). La comunidad vegetal representativa, de acuerdo a la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1986), está conformada principalmente por vegetación semiárida del tipo matorral desértico micrófilo asociado con matorral desértico rosetófilo, vegetación espinosa con hojas en forma de roseta y con una importante presencia de cactáceas. Algunas de las especies que representan a este ecosistema son las siguientes: lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.), gobernadora (*Larrea tridentata* Sessé & Moc. ex DC.), entre otras (Alanís, 1996). Cabe destacar que el área de investigación es de alta prioridad, ya que se ubica entre las siguientes ANPs: Parque Nacional Cumbres de Monterrey (11.20 km) de regulación federal, Sierra Cerro de Bandidos (11.66 km) de regulación estatal (Nuevo León), Sierra de Zapalinamé (19.54 km) de regulación estatal (Coahuila), y Área de Protección de los recursos Naturales, Zona protectora Forestal CADNR026 (1.20 km) de regulación federal (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de las áreas estudiadas: sitio restaurado 4 años (SR4); sitio restaurado 8 años (SR8); sitio testigo (ST) y; sitio natural (SN).

#### IV.4.2. Tratamiento y análisis de la vegetación

En el verano de 2011 se evaluaron dos áreas restauradas, con un tiempo de regeneración de cuatro años (SR4) y ocho años (SR8) respectivamente, así como un área testigo sin obras de restauración (ST) y un sitio natural sin afectaciones (SN) (Figura 2). Las áreas tenían una distancia máxima de 1.9 km entre ellas y presentaban características fisiográficas similares. En las áreas restauradas se realizaron actividades de acondicionamiento de manera mecánica, creando taludes con pendiente de 30°. También se crearon plataformas horizontales con contrapendiente, utilizando agregados para conformar terraplenes para la retención de material edáfico y retención de humedad (Figura 3).

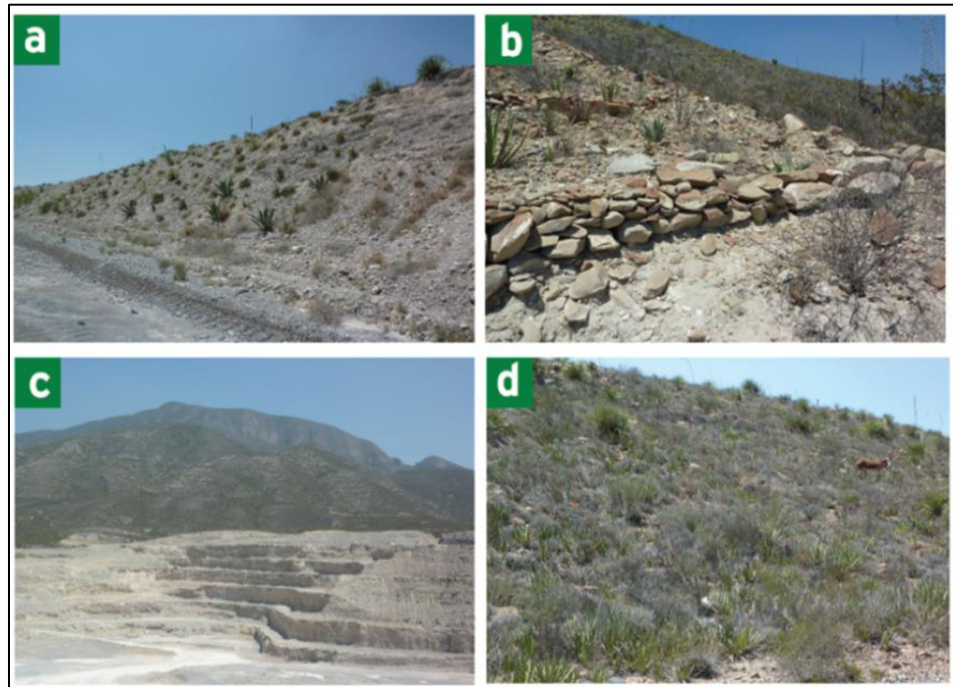
Después de construir los taludes en las áreas restauradas, se realizó una reforestación con especies nativas en el mes de septiembre, mes con mayor precipitación del año en la zona. Los ejemplares utilizados fueron resultado de las prácticas de rescate y conservación de ejemplares adultos de agaváceas y

cactáceas de la zona, previo a las acciones de aprovechamiento de materiales. Estos individuos estuvieron durante 12 meses en un vivero temporal contiguo a la zona de estudio. La densidad de plantación fue de 1 100 N/ha (individuos/hectárea) con un espaciamiento de 3 m x 3 m. En el área SR4 (Figura 2a), con una superficie de 4 300 m<sup>2</sup>, se utilizaron 473 individuos, correspondientes a 10 especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave striata*, *Dasyllirion texanum*, *Echinocereus reichenbachii*, *Echinocereus eneacanthus*, *Lophopora williamsii*, *Coryphanta compacta*, *Mammillaria melanocentra* y *Mammillaria pottsii*), y en el SR8 (Figura 2b), con una superficie de 4 280 m<sup>2</sup>, se utilizaron 471 individuos, correspondientes a seis especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave striata*, *Coryphanta compacta*, *Dasyllirion texanum* y *Fouqueria splendans*), para las prácticas de reforestación.

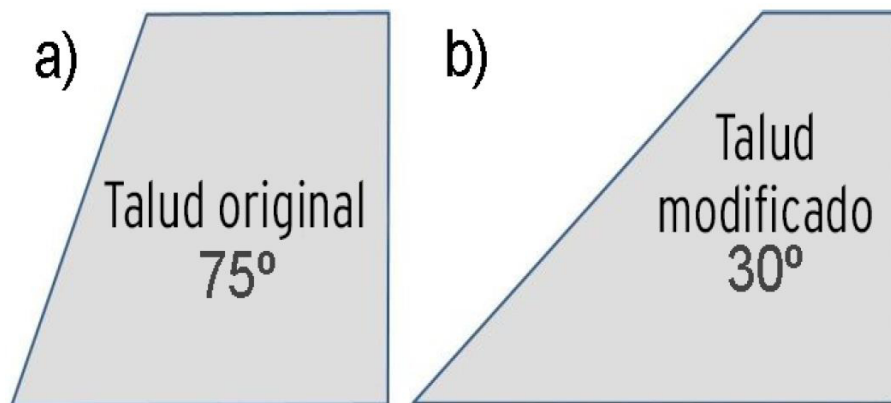
Es importante manifestar que en el ST (Figura 2c) seleccionado con una temporalidad de ocho años de abandono y una superficie de 4 350 m<sup>2</sup>, no se registró la presencia de especies vegetales establecidas sobre los taludes existentes. Por último, el SN (Figura.2d) evaluado fue de 4 200 m<sup>2</sup>. Las acciones antes mencionadas fueron establecidas en dos períodos diferentes de acuerdo al avance constructivo, el SR8 en el 2005, y el SR4 en el 2009. La diferencia de especies plantadas, obedece principalmente a un requerimiento ambiental de autoridades federales para el rescate y protección de las familias cactaceae y agaveceae.

El método de registro de la vegetación, consistió en el establecimiento de cinco sitios de muestreo de 100 m<sup>2</sup>, en cada una de las tres unidades de análisis (15 sitios en total). Los sitios fueron distribuidos aleatoriamente, para determinar la estructura y composición de la vegetación, para lo cual se efectuaron mediciones dasométricas de altura total de los ejemplares presentes (h), diámetro basal (d<sub>0.10</sub>) y cobertura de copa. La medición del diámetro se realizó a 0.10 m sobre la base del suelo, siendo una medida estándar empleada para especies arbóreas y arbustivas (Alanís y col., 2008), y se evaluaron los individuos con un diámetro d

0.10  $\geq$  1 cm, para obtener una mayor representatividad de las especies (Mora y col., 2013). La cobertura fue medida en términos absolutos, es decir: cm<sup>2</sup> cubiertos por cada especie (Montani y col., 1986). Los ejemplares fueron identificados por personal calificado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).



**Figura 2.** Imágenes de los sitios evaluados: a) sitio restaurado cuatro años (SR4); b) sitio restaurado ocho años (SR8); c) sitio testigo (ST) y; d) sitio natural (SN).



**Figura 3.** a) Estado original del talud; b) estabilización física del talud para su rehabilitación.

#### **IV.4.3. Análisis de la información**

Se calculó el índice del valor de importancia (IVI) de las especies presentes, utilizando las siguientes variables relativas: abundancia (Ar), dominancia (Dr) y frecuencia relativa (Fr); y los parámetros ecológicos de diversidad alfa ( $\alpha$ ) mediante el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) e índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949), y la diversidad beta ( $\beta$ ) con el coeficiente de similitud de Jaccard (Tabla 1).

Para la clasificación de los sitios y determinación de su semejanza, se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard, que expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies que comparten, por lo que es una medida inversa de la diversidad  $\beta$ , que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Magurran, 1988). El intervalo de valores para este índice va de 0 (cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios), hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. El análisis se llevó a cabo con el programa Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.2 y el método de ajuste utilizado fue Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA).

El análisis de las variables edáficas (macro y micronutrientes del suelo); se desarrolló en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL. Con esta información se procedió a determinar la relación entre especies vegetales y variables edafológicas mediante un análisis de ordenación canónica (ACC) en el programa CANOCO for Windows 4.55 (Ter-Braak y Smilauer, 1997), para el cual, se crearon bases de datos bióticos (abundancias de especies) y abióticos (variables edafológicas). Los datos de las especies fueron transformados con el método de la raíz cuadrada. Se registró el pH y porcentaje de Materia Orgánica, y las variables edafológicas seleccionadas fueron: a) Macronutrientes: carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre y calcio; b) Micronutrientes: boro, hierro, cobre y zinc (Tabla 3).

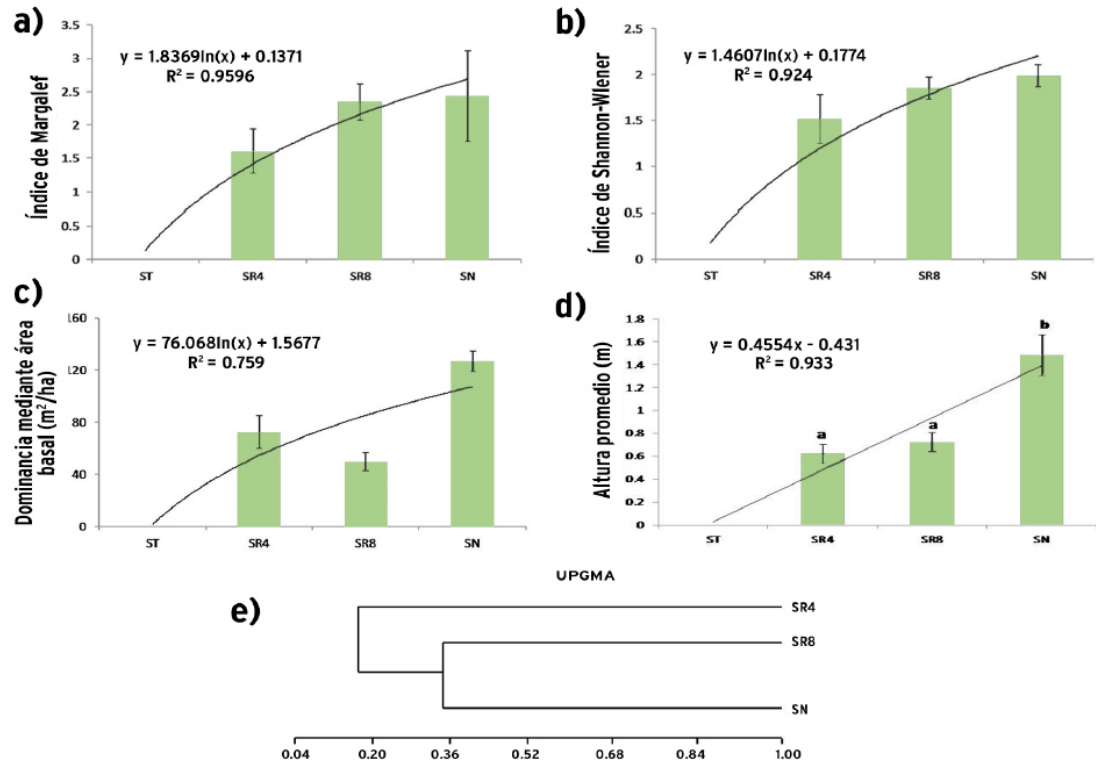
Para evaluar si existía diferencia significativa de las variables entre las áreas evaluadas, se procedió a calcular los valores promedio de los sitios de muestreo. Se realizó un análisis de varianza ANOVA ( $P < 0.05$ ). Cuando se registraron diferencias significativas se efectuó la prueba de Tukey y Games Howell. El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

#### IV.5. Resultados y discusión

Se registraron en total 640 individuos correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformadas por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas (Tabla 1). De acuerdo a los valores máximos de IVI, las familias más representativas en SR4 fueron Agavaceae (24.88%) y Asteraceae (23.58%), y las especies *Agave lecheguilla* (14.70%) y *Gymnosperma glutinosum* Spreng. Less. (8.58 %). Para SR8, las familias más representativas fueron Agavaceae (23.17%), y Amaranthaceae (17.56.%), y las especies *Salsola kali* (17.56 %), y *Agave lecheguilla* (12.64 %), la primera es una planta anual originaria de Euroasia, herbácea cosmopolita que responde a suelos arenosos y frecuentemente impactados, y la segunda planta es una suculenta característica de suelos calizos. Por último, en el SN se registraron las familias Agavaceae (17.71%), Zygophyllaceae (13.11k%) y Asteraceae (7.32 %), y las principales especies fueron *Agave lecheguilla* (13.24%), *Larrea tridentata* (9.49%) y *Gymnosperma glutinosum* (4.69 %). Los géneros *Agave*, *Larrea*, *Gymnosperma* y *Salsola* son los más representativos de acuerdo con los patrones de abundancia relativa en las tres áreas estudiadas.

La abundancia de las plantas de la familia Cactaceae y Agavaceae, obedece a la incorporación de estos ejemplares como parte de la reforestación inicial (Tabla 2). La riqueza de especies presentes en SR4 fue de 18 especies (ocho como resultado de la regeneración natural), para SR8 fue de 16 especies (10 especies por regeneración natural), y para ST no se registró la presencia de especies vegetales.





**Figura 4.** a) Índice de Margalef; b) índice de Shannon-Wiener; c) área basal; d) altura promedio; e) dendrograma de similitud entre las áreas SR4, SR8 y SN. Valores promedio y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 1.** Valores de abundancia, dominancia, frecuencia relativa e índice de valor de importancia de las áreas evaluadas.

Clave	Familia	Nombre Científico	Forma de Vida	ST				SR4				SR8				SN			
				Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	A <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>	F <sub>r</sub>	IVI
1	Mimosaceae	<i>Acacia berlandieri</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.865	2.137	6.125	4.042
2	Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.415	4.274	4.167	3.619
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	7.959	4.255	4.812	7.959	4.255	4.812	6.519	-	-	-	-
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Roseta	-	-	-	-	25.926	7.551	10.638	14.705	21.104	7.013	9.804	12.640	27.536	2.137	10.055	13.243
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Roseta	-	-	-	-	5.926	5.918	4.255	5.367	1.948	4.208	5.882	4.013	-	-	-	-
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Herbácea	-	-	-	-	8.889	5.102	6.383	6.791	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	4.274	4.155	3.293
8	Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	7.123	4.167	5.374
9	Mimosaceae	<i>Calliandra conferta</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	8.421	2.083	3.985
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	1.299	6.311	5.882	4.497	-	-	-	-
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Crasicaule	-	-	-	-	6.667	2.449	4.255	4.457	3.571	1.403	3.922	2.965	0.483	0.712	2.083	1.093
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	6.818	2.104	5.882	4.935	-	-	-	-
13	Ruscaceae	<i>Dasylirion texanum</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	10.612	6.383	6.406	1.623	7.013	5.882	4.839	7.729	6.410	6.250	6.796
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	5.185	3.061	4.255	4.167	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Crasicaule	-	-	-	-	1.481	3.673	2.128	2.428	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Cactaceae	<i>Ferocactus hamathacantus</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	0.142	2.070	1.220
17	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	0.974	16.830	3.922	7.242	-	-	-	-
18	Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	12.821	2.020	5.269
19	Asteraceae	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.483	5.342	2.083	2.636
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	9.184	10.638	8.583	-	-	-	-	5.797	2.137	6.150	4.695
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Crasicaule	-	-	-	-	7.407	3.265	6.383	5.685	-	-	-	-	3.865	1.068	4.030	2.988
22	Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	4.986	6.250	5.356
23	Koeberliniaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	2.991	2.083	2.013
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	8.889	9.388	8.511	8.929	-	-	-	-	11.594	8.547	8.333	9.492
25	Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.763	8.547	6.250	7.187
26	Cactaceae	<i>Lophophora</i>	Crasicaule	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	-

Clave	Familia	Nombre Científico	Forma de Vida	ST				SR4				SR8				SN			
				Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	A <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>	F <sub>r</sub>	IVI
		<i>williamsii</i>																	
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Crasicaule	-	-	-	-	4.444	2.041	6.383	4.289	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.932	2.493	3.159	2.528
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.741	4.082	2.128	2.317	0.974	2.104	3.922	2.333	0.966	1.256	2.083	1.435
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	1.623	4.208	3.922	3.251	1.932	2.137	4.167	2.745
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	10.204	8.511	8.214	-	-	-	-	-	-	-	-
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	4.221	2.244	5.882	4.116	-	-	-	-
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Arborescente	-	-	-	-	2.222	12.245	6.383	6.950	1.948	18.233	5.882	8.688	3.382	2.459	4.025	3.289
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	37.987	4.909	9.804	17.567	3.865	1.781	4.045	3.230
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	3.247	5.610	7.843	5.567	-	-	-	-
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	7.468	4.488	7.843	6.600	-	-	-	-
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	2.597	4.208	5.882	4.229	-	-	-	-
39	Agavaceae	<i>Yucca filifera</i>	Roseta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	7.805	4.167	4.474
				0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Por último, para el ecosistema base o SN se registró la presencia de 23 especies. De acuerdo al criterio de Pianka (1982), las plantas que se establecen en un sitio perturbado, pueden clasificarse como colonizadoras eficientes (estrategas o plantas oportunistas) (Chaves y Escudero, 1997; Zimmerman y col., 2000). Este patrón de semejanza, que en este caso ocurre de manera natural para los sitios SR4 y SR8, posterior a las prácticas de restauración, se debe particularmente al establecimiento las familias Asteraceae (5), Euphorbiaceae (2), Loasaceae (1), Zygophyllaceae (1), Fabaceae (1), Amaranthaceae (1), Solanaceae (1) y Boraginaceae (1), que de acuerdo al IVI representan el 45.15 % y 56.19 %, para SR4 y SR8 respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2.** Origen, forma de vida y valor del IVI de las especies en las áreas con rehabilitación.

Clave	Familia	Nombre Científico	Origen	Forma de Vida	ST IVI	SR4 IVI	SR8 IVI
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Artificial	Roseta	--	4.812	6.519
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Artificial	Roseta	--	14.705	12.640
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Artificial	Roseta	--	5.367	4.013
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Natural	Herbácea	--	6.791	-
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.497
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.457	2.965
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Natural	Arbustiva	--	-	4.935
13	Ruscaceae	<i>Dasyllirion texanum</i>	Artificial	Roseta	--	6.406	4.839
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.167	-
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.428	-
17	Fouquieriaceae	<i>Fouqueria splendens</i>	Artificial	Arbustiva	--	-	7.242
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Natural	Herbácea	--	8.583	-
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Natural	Crasicaule	--	5.685	-
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Natural	Arbustiva	--	8.929	-
26	Cactaceae	<i>Lophophora williamsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.289	-
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Natural	Crasicaule	--	2.317	2.333
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Artificial	Crasicaule	--	-	3.251
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Natural	Herbácea	--	8.214	-
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.116
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Natural	Arborescente	--	6.950	8.688
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Natural	Herbácea	--	-	17.567
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Natural	Herbácea	--	-	5.567
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Natural	Herbácea	--	-	6.600
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.229
					0	100	100

#### **IV.5.1.Diversidad alfa**

Los valores promedios del índice de Margalef presentaron similitud estadística ( $P = 0.1520$ ) en los SR4, SR8 y SN. Pese a ello, se aprecia que los valores incrementan conforme aumenta el tiempo transcurrido, observándose una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.956$ ; Figura 4a). De igual manera, los valores promedios del índice de Shannon-Wiener presentaron similitud estadística ( $P = 0.2150$ ) en los SR4, SR8 y SN, y un incremento del valor conforme aumenta el tiempo transcurrido con una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.924$ ; Figura 4b). Estos resultados afirman lo expresado por Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que en algunos territorios semiáridos la sucesión ecológica no culmina a menudo en una etapa madura y más o menos estable, sino que las condiciones ecológicas limitan la aparición y establecimiento de determinadas especies y comunidades. Los valores del índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener del sitio natural son similares a los registrados por Canizales y col. (2009), y Mora y col. (2013), en matorrales maduros del noreste de México.

#### **IV.5.2.Dominancia**

La dominancia promedio de las áreas evaluadas mostró diferencias significativas ( $P = 0.0001$ ). La cobertura de la vegetación adulta establecida de manera inicial, propicia condiciones favorables de hábitat para el establecimiento de otras especies (herbáceas y algunas leñosas), particularmente de las familias Asteraceae y Fabaceae. En la Figura 4c se aprecia una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.759$ ). Si bien los valores de dominancia del SR4 y SR8 fueron menores al SN, estos valores son considerablemente mayores a los registrados por Jiménez y col. (2012), en áreas regeneradas naturalmente después de actividades agrícolas; Jiménez y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, y a los de Hernández y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividad forestal. Lo anterior, como resultado de incorporación de una cobertura vegetal (ejemplares adultos), la cual acelera el

proceso de estabilidad del sustrato, microclima y material germoplásmico, facilitando la colonización de otras especies y/o nuevos individuos.

#### **IV.5.3. Altura**

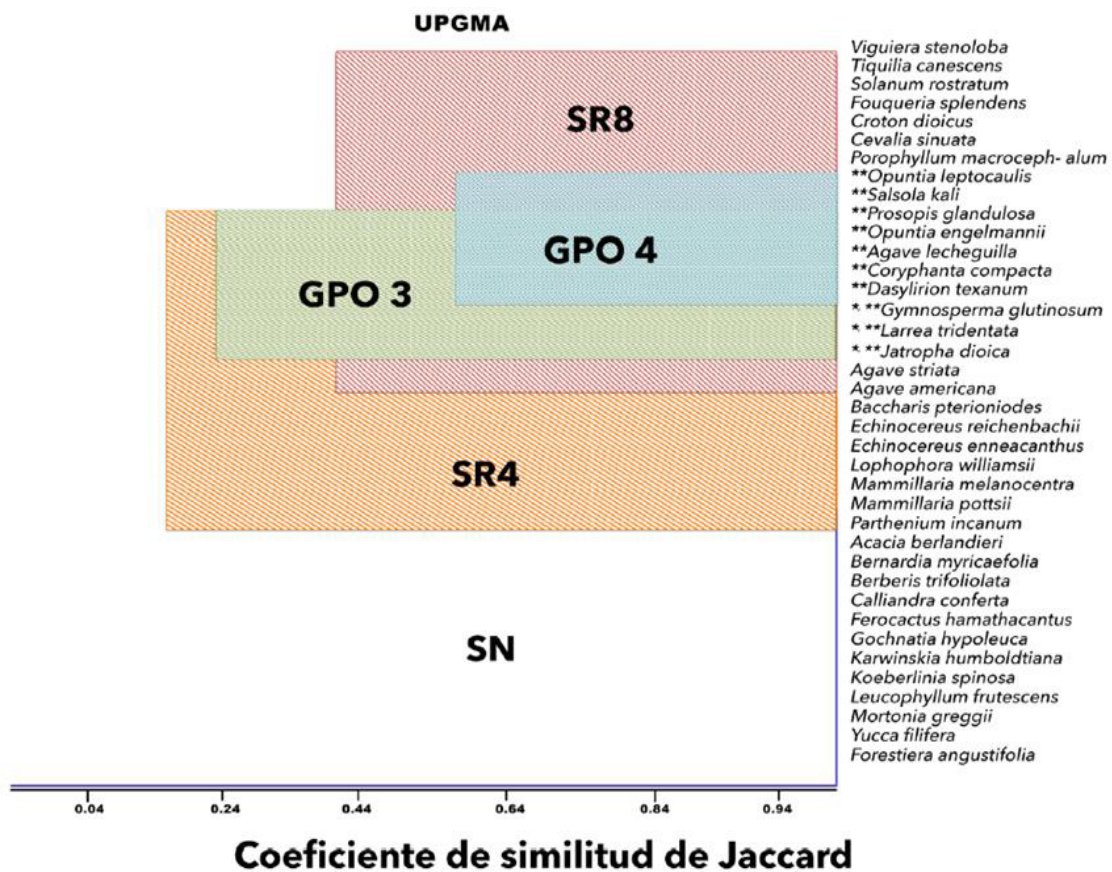
Los valores promedios de altura mostraron diferencias significativas entre las áreas evaluadas ( $P = 0.0001$ ) (Figura 4d). La estructura vertical muestra una tendencia lineal positiva ( $R^2 = 0.933$ ; Figura 4d), con presencia de especies fuertemente adaptadas a zonas semiáridas (familias Fabaceae y Zygophyllaceae). La altura promedio de los sitios SR4 y SR8 fue de 0.62 m y 0.72 m, respectivamente, mientras que la del SN fue de 1.48 m. Es importante mencionar que en cuatro años de regeneración la comunidad vegetal presenta el 41.89 % de la altura potencial de una comunidad madura, y en ocho años tiene el 48.64 %. Esto muestra una línea de tendencia positiva en relación a la altura obtenida en una escala de tiempo relativamente corta.

#### **IV.5.4. Diversidad beta**

En base al análisis y dendrograma de agrupamiento de las áreas evaluadas (SR4, SR8 y SN), se aprecia que existe disimilitud entre ellos (Figura 4e). Esto indica, que aun teniendo similitud estadística en sus valores de riqueza y diversidad, presentan composiciones florísticas diferentes. La familia mejor representada fue Asteraceae (3 especies para SR4, 2 para SR8 y 2 para SN) y Agavaceae (3 especies para SR4, 3 para SR8 y 2 para SN) seguida por Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae (Tabla 1). Las especies de estas familias usualmente son favorecidas por efecto de la perturbación en las comunidades vegetales, ya que llegan a ser elementos abundantes en las primeras etapas sucesionales de la comunidad vegetal. De hecho, comúnmente son conocidas por su marcado comportamiento arvense, como malezas en cultivos o como ruderales en los caminos (Villaseñor y Espinoza, 1998), aspecto que en este estudio se observó constantemente en los taludes de los sitios abandonados, posterior a las actividades de rehabilitación. De las 23 especies registradas en el SN, 10 de ellas

se presentan en las áreas rehabilitadas (siete en SR8 y ocho en SR4). Estos resultados concuerdan con los de Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que la composición de especies después de una perturbación, está definida en gran medida, por las especies que existían antes de la alteración y por la vegetación circundante. También coinciden con los resultados de Alanís y col. (2013), quienes evaluaron la diversidad beta de áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, encontrando que las comunidades vegetales presentaban una alta disimilitud. De esta manera el factor diversidad se ve favorecido con la introducción de especies adultas al medio, lo cual resulta en condiciones favorables para el desarrollo de las diferentes fases de sucesión ecológica en una escala de tiempo.

Adicionalmente, se realizó un dendrograma de agrupamiento de especies de acuerdo a su presencia en cada sitio (Figura 5).



\* Las tres especies no pertenecen al SR8.

\*\* Estas especies también pertenecen al SN.

**Figura 5.** Dendrograma de similitud de especies en cada uno de los sitios.

El grupo cuatro muestra siete especies compartidas entre SN y SR8: *Opuntia leptocaulis* y *Opuntia engelmannii*, *Prosopis glandulosa* y *Agave lecheguilla*; especies primarias que se caracterizan por hábitats sumamente variados, distinguiéndose aspectos como la tolerancia a temperaturas extremas, suelos calcáreos típicos de matorrales desérticos y su dispersión y/o adaptación a sitios perturbados, lo que indica una tendencia favorable en las condiciones del área posterior a las actividades de restauración (Pugnaire y col., 2004b). Con relación al grupo tres, las especies compartidas entre SN y SR4 son: *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*, *Agave lecheguilla*, *Coriphanta compacta*, *Dasyllirion texanum*, *Prosopis glandulosa*, *Gymnosperma glutinosum* y *Opuntia engelmannii*.

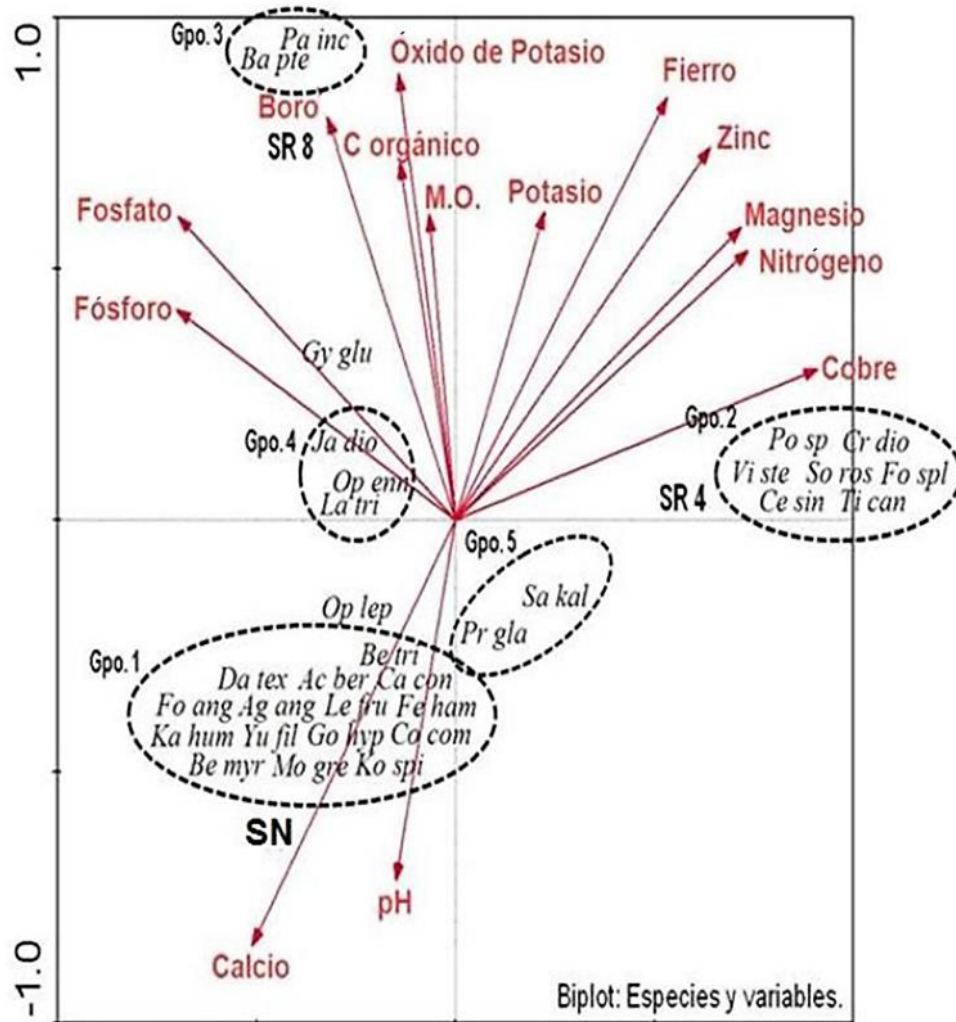
#### **IV.5.5.Suelo**

Con relación al factor edáfico se observó una homogeneidad en los valores de pH (suelos neutros) en las cuatro zonas evaluadas, en cuanto a los nutrientes K, S y Zn se mantuvieron constantes para los sitios SR4, SR8 y SN; en el ST no se pudieron obtener muestras dada la nula presencia de suelo. Los valores de MO, C y Ca presentan un marcado incremento entre las áreas evaluadas, siendo el SN el que presentó los mayores valores dado su estado natural. Sin embargo, es importante manifestar que en el sitio se presentan suelos calizos frecuentemente poco profundos y rocosos, por lo que la sucesión secundaria se encuentra estrechamente relacionada con la captación y establecimiento de suelo vegetal, el cual proporciona los nutrientes necesarios para el establecimiento de especies perennes. Foster y Motzkin (2003), mencionan que la recuperación natural, se completa con la presencia de especies estructuralmente importantes y está influenciada por el tipo y calidad del suelo, y requiere de largos períodos de tiempo. Es importante destacar que la incorporación de material vegetal y la adecuación del relieve, permiten acelerar el proceso de captación de agua del suelo en zonas semiáridas, lo cual es uno de los objetivos del presente estudio.



#### **IV.5.6 .Análisis de ordenación canónica ACC**

Los resultados muestran que los valores de los tres primeros ejes del ordenamiento resultaron significativos, con una inercia total de 1.620, es decir, las especies vegetales estuvieron distribuidas en asociación a gradientes ambientales (Figura 6). Así también, los resultados de las pruebas de permutaciones de Monte Carlo resultaron significativos para el primero y todos los ejes de la ordenación canónica. En general, el diagrama de ordenación representa adecuadamente la distribución de las especies en los sitios analizados con respecto a las variables ambientales seleccionadas, lo que concuerda con lo encontrado en el análisis de agrupamiento por especies, mostrado en la Figura 6. La variable con más correlación con las especies del SN es el calcio, ya que en este sitio no se llevaron a cabo extracciones de caliza y muestra el cambio drástico en la composición florística de un ecosistema al extraer este material. Las especies más abundantes del SR4 mostraron gran correlación con el elemento cobre, mientras que las dominantes en el SR8: hierba de pasmo (*Baccharis pterionoides* D.C.) y mariola (*Parthenium incanum* Kunth), presentaron una muy marcada correlación con el elemento boro (Figura 6).






**Figura 6.** Distribución de 31 especies vegetales de 2 áreas restauradas (SR4 Y SR8) y un sitio sin afectación (SN) en un ecosistema semiárido del noreste de México. Diagrama de ordenación de Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con las especies: Ac ber = *Acacia berlandieri*, Ag ang = *Agave angustifolia*, Ba pte = *Baccharis pterionoides*, Be tri = *Berberis trifoliata*, Be myr = *Bernardia myricaefolia*, Ca con = *Calliandra conferta*, Ce sin = *Cevalia sinuata*, Co com = *Coryphanta compacta*, Cr dio = *Croton dioicus*, Da tex = *Dasyllirion texanum*, Fe ham = *Ferocactus hamathacanthus*, Fo ang = *Forestiera angustifolia*, Fo spl = *Fouquieria splendens*, Go hyp = *Gochnatia hypoleuca*, Gy glu = *Gymnosperma glutinosum*, Ja dio = *Jatropha dioica*, Ka hum = *Karwinskia humboldtiana*, Ko spi = *Koeberlinia spinosa*, La tri = *Larrea tridentata*, Le fru = *Leucophyllum frutescens*, Mo gre = *Mortonia greggii*, Op enn = *Opuntia engelmannii*, Op lep = *Opuntia leptocaulis*, Pa inc = *Parthenium incanum*, Po sp = *Porophyllum macrocephalum*, Pr gla = *Prosopis glandulosa*, Sa kal = *Salsola kali*, So ros = *Solanum rostratum*, Ti can = *Tiquilia canescens*, Vi ste = *Viguiera stenoloba*, Yu fil = *Yucca filifera*; y variables ambientales (flechas): pH, C orgánico = contenido de carbono orgánico, M.O. = % de materia orgánica, % N, % P, % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % K, % K<sub>2</sub>O, % Ca, % Mg, % Fe, % Mg/, % Z, % Cu, % B.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ST presentó una nula recuperación, dado que no se establecieron actividades de rehabilitación. Lo cual concuerda con lo establecido por Foster (2002), en donde mencionan que los regímenes de perturbación muy frecuentemente conducen a poblaciones remanentes pequeñas, lo que reduce notablemente la capacidad de recuperación del ecosistema. Sin embargo, los valores de riqueza y diversidad entre las áreas rehabilitadas (SR4 y SR8) no presentaron diferencias significativas, dado que el 46.15 % de las especies presentes, se establecieron de manera asistida (12 de 26 especies registradas en SR4 y SR8), pero si una recuperación positiva en la diversidad de especies en ambos sitios evaluados en una escala de temporal para SR4 y SR8 (7 y 9 especies respectivamente). Lo cual favoreció la protección del suelo y la formación de microambientes para el establecimiento de especies oportunistas, de manera particular, las familias Asteraceae (5) y Euphorbiaceae (2).

En relación con la adecuación del relieve en las áreas restauradas, se observa una tendencia positiva en la recuperación de las condiciones de suelo, así como el incremento y retención de materia orgánica (SR4 = 1.86 y SR8 = 2.36, comparado con SN = 4.26), y macro y micronutrientes (Tabla 3), nutrientes que están estrechamente relacionados con el crecimiento, germinación y desarrollo de la plantas, por lo que en el corto y mediano plazo, el restablecimiento de la composición y estructura de la vegetación original será inminente.

**Tabla 3.** Estimación de Macro y Micro nutrientes en las tres áreas evaluadas.

Tratamiento	Macro							Micro					
	pH	M.O.	C	N	P	K	S	Ca	Bo	Cu	Fe	Zn	Mg
ST	6.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SR4	7.78	1.86	1.15	0.087	0.105	0.180	0.05	8.48	0.021	11.84	0.632	0.73	0.44
SR8	7.84	2.36	1.36	0.107	0.130	0.212	0.05	9.50	0.022	13.70	1.65	0.85	0.59
SN	7.91	4.26	2.47	0.169	0.173	0.237	0.05	24.7	0.132	19.61	1.66	0.88	0.68

pH = Nivel de acidez en escala decimal (Rubinson, 2000), M.O. = Porcentaje de materia orgánica, C = Porcentaje de carbono, N = Nitrógeno, P = Fosforo, K = Potasio, S = Azufre, Ca = Calcio, Bo = Boro, Cu = Cobre, Fe = Hierro, Zn = Zinc, Mg = Magnesio. Unidades de medida en partes por millón. Valoración: Alto  Medio  Bajo 

Lo anterior, concuerda con Pugnaire y col. (2001), Chambers y Macmahon (1994), y Etchepare y Boccanelli (2007), quienes mencionan que la forma y exposición de las laderas y/o taludes determinan las condiciones ambientales diferenciales (temperatura y humedad) a las que responde la vegetación. Además de acuerdo a Rokich y col. (2000), la retención del suelo posterior a una alteración es un factor que coadyuva, junto con arribo de semillas viables, a la modificación en la composición de la cubierta vegetal; efecto que pudo observarse en esta investigación de manera específica en el establecimiento de especies vegetales de las familias Asteraceae, Cactaceae, Euphorbiaceae, Loasaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae, de manera natural.

Las familias Agavaceae (géneros *Agave* y *Dasyllirion*) y Cactaceae (género *Opuntia*) son, sin duda, las familias mejor adaptadas a las condiciones extremas en zonas semiáridas, como resultado de su reproducción asexual y cobertura, así como de sus características específicas para sobrevivir en suelos perturbados, condiciones extremas de humedad, temperatura y con ausencia de cobertura vegetal (Alanís y col., 2014). Estas plantas fungen como vectores importantes para la captación de suelo y nodricismo, en el caso específico de la presente investigación, en el establecimiento de 13 especies vegetales posterior a las prácticas de rehabilitación (*Partenium incanum*, *Prophyllum macrocephalum*, *Prosopis glandulosa*, *Salsola kali*, *Solanum rostratum*, *Tiquilia canescens*, *Opuntia engelmannii*, *Gymnosperma glutinosum*, *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata*, *Croton dioicus*, *Cevalia sinuata* y *Baccharis pterioniodes*) en la etapa de sucesión secundaria, en comparación con el sitio ST, en el cual no existe la regeneración natural, dado que no se llevaron a cabo prácticas de reforestación y adecuación del relieve.

## IV.6. Conclusiones

La restauración de comunidades vegetales mediante la incorporación de especies vegetales nativas y adultas, y la adecuación del relieve, provee los elementos para la regeneración natural de la vegetación en un ecosistema semiárido afectado por la extracción de materiales. A través del tiempo (SR4, SR8), las variables de diversidad alfa ( $D_{Mg}$  y  $H'$ ) fueron incrementando, lo que indica que la comunidad vegetal presentó mayor heterogeneidad en su composición con relación al SN. Las especies *Agave lecheguilla*, *Agave americana*, *Agave striata*, *Opuntia engelmannii* y *Opuntia leptocaulis*, son especies resilientes que funcionan como vectores para la colonización de otras especies en ambientes semiáridos. Así mismo, la adecuación del relieve en los sitios (SR4 y SR8) promovió la incorporación de suelo y el incremento y la retención de materia orgánica, tomando como línea base el sitio testigo (ST), el cual presentó nula recuperación, y el sitio natural sin afectaciones (SN) que presentó las condiciones que se pretenden obtener para los sitios rehabilitados. De esta manera, las acciones desarrolladas en la presente investigación favorecieron el restablecimiento de los componentes básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), los cuales son necesarios para proveer de servicios ambientales (hábitat y alimento para fauna y retención del suelo, entre otros), en ecosistemas semiáridos afectados por el aprovechamiento de materiales. En contraposición, el no desarrollar estas prácticas, ocasiona que el ecosistema afectado no se recupere por sí mismo (ST). Por ello, es imperante la necesidad de integrar en las actividades de aprovechamiento, la conservación de material vegetal, suelo y la adecuación del relieve posterior a los cortes, con la finalidad de propiciar con la restauración asistida, la recuperación de los ecosistemas afectados.

#### IV.7. Literatura Citada.

- Alanís, E., Aguirre, O. A., Jiménez, J., Pando, M., Treviño, E. J., Aranda, R. y Canizales P.IA. (2010). Efecto de la severidad del fuego sobre la regeneración asexual de especies leñosas de un ecosistema mixto (*Pinus-Quercus*) en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Interciencia*. 35(9): 690-695.
- Alanís, E., Jiménez, J., Espinoza D., Jurado, E., Aguirre, O. A. y González, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada postincendio en el Parque Ecológico Chipinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 14(2): 13-118.
- Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerana J. I., Cuellar, L. G. y Mora-Olivo, A. (2013). Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*. 82: 185-191.
- Alanís, E., Mora-Olivo A., Jiménez, J., González, M. A., Yerena, J. I., Martínez, J. G. y González, E. (2014). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*. En prensa.
- Alanís, G. J., Cano, G. y Rovalo, M. (1996). *Vegetación y Flora de Nuevo León: Una Guía Botánico- Ecológica*. México: Impresora Monterrey, S. A. de C. V. 251 Pp.
- Canizales, P. A., Alanís, E., Aranda, R., Mata, J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J. I. y Ruiz, M. G. (2009). Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2): 115-120.
- Chambers, J. C. and MacMahon, J. A. (1994). A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 25: 263-292.
- Chaves, N. y Escudero, J. C. (1997). Allelopathic effect of *Cistus ladanifer* on seed germination. *Functional Ecology*. 11: 432-440

- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012). Servicio Meteorológico Nacional, Estación 00005140 Ramos Arizpe, Coahuila. [En línea]. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/index.php>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2012.
- Etchepare, M. A. y Boccanelli, S. I. (2007). Análisis del banco de semillas y su relación con la vegetación emergente en una clausura de la llanura pampeana. *Ecología Austral*. 17(1): 159-166.
- Foster, B. L. (2002). Constraints on colonization and species richness along a grassland productivity gradient: the role of propagule availability. *Ecology Letters*. 4: 530- 535.
- Foster, D. R. and G. Motzkin. (2003). Interpreting and conserving the openland habitats of coastal New England: insights from landscape history. *Forest Ecology and Management*. 185: 127-150.
- Ginocchio, R. y León-Lobos, P. (2011). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N°1: Metodología General. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 82 Pp.
- Hernández, J., Aguirre, O. A., Alanís, E., Jiménez, J. y González, M. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3): 189-199.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1986). Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 170 Pp.
- Jiménez, J., Alanís, E., Aguirre, O., Pando, M. y González, M. A. (2009). Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*. 15(3): 5-20.
- Jiménez, J., Alanís, E., González, M. A., Aguirre, O. A., and Treviño, E. J. (2013). Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 58(3): 299-304

- Jiménez, J., Alanís, E., Ruiz, J. L., González, M. A., Yerena, J. I. y Alanís, G. J. (2012). Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*. 15(2): 66-71.
- Josa, R., Jorba, M., and Vallejo, V. R. (2012). Opencast mine restoration in a Mediterranean semi-arid environment: failure of some common practices. *Ecological Engineering*. 42: 183-191.
- Kirmer, A., Baasch, A., and Tischew, S. (2012). Sowing of low and high diversity seed mixtures in ecological restoration of surface mined-land. *Applied Vegetation Science*. 15(2): 198-207
- Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and it's measurement. Estados Unidos: Princeton University Press. 179 Pp.
- Mata, J. M., Treviño, E. J., Jiménez, J., Alanís, E y Salinas, W. E. (2010). Evaluación de la siembra directa de *Pinus cembroides* y *P. nelsonii* en la restauración de un ecosistema semiárido-templado. *Ciencia UANL*. 8(1): 72-77.
- Molina-Guerra, V. M., Pando- Moreno, M., Sánchez-Salas, J., González-Rodríguez, H., Alanís- Rodríguez, E. y Cantú-Silva, I. (2012). La resiliencia del recurso suelo. *Boletín Divulgativo de la Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica*. 6(1): 16-18
- Montani, T., Distel, R. A. y Busso, C. A. (1986). Métodos de Estudio de la Vegetación. Guía de Trabajos Teórico-Prácticos de Ecología. Argentina: Universidad Nacional del Sur. 60 Pp.
- Mora, C. A., Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerena, J. I. y Cuellar, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada*. 12(1): 29-34.
- Myronidis, D. I., Emmanouloudis, D. A., Mitsopoulos, I. A., and Riggos, E. (2010) Soil erosion potential after fire and rehabilitation treatments in Greece. *Environmental Modeling and Assessment*. 15: 239-250.



- Neri, A. C. and Sánchez, L. E. (2010). A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. *Journal of Environmental Management*. 91(11): 2225-2237.
- Pianka, E. R. (1982). *Ecología evolutiva*. Barcelona: Omega. 376 Pp.
- Pugnaire, F. I. and Luque, M. T. (2001). Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos*. 93: 42–49.
- Pugnaire, F. I., Armas, C., and Valladares, F. (2004a). Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science*. 15 (1): 85-92.
- Pugnaire, F. I., Luque, M., Armas, C., and Gutiérrez, L. (2004b). Factors affecting secondary succession in a semi-arid Mediterranean shrubland. *Journal of Ecology*. 56(2): 213-233.
- Rokich, D. P., Dixon, K. W., Sivasithamparam, K., and Meney, K. A. (2000). Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology*. 8(2): 196-208
- Robinson, J. F. y Robinson, K. A. (2000). *Química Analítica contemporánea*. EUA: Editorial Pearson Education. 615 Pp.
- Rybicki, J. and Hanski, I. (2013). Species–area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation. *Ecology Letters*. 16(1): 27-38
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Estados Unidos: The University of Illinois Press. 117 Pp.
- Ten-Kate, K., Bishop, J., and Bayon, R. (2004). Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case. [En línea]. Disponible en: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/bdoffsets.pdf>. Fecha de consulta: 4 de abril de 2012.
- Ter-Braak, C. J. F. and Smilauer, P. (1997). *Canoco for Windows Version 4.02*. Centre for Biometry, Wageningen, The Netherlands.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa, G. F. J. (1998). *Catálogo de Malezas de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 449 Pp.

- Wassenaar, T. D., Henschel, J. R., Pfaffenthaler, M. M., Mutota, E. N., Seely, M. K., and Pallett, J. (2012). Ensuring the future of the Namib's biodiversity: Ecological restoration as a key management response to a mining boom. *Journal of Arid Environments*. 93: 126-135.
- Zimmerman, J. K., Pascarella, J. B., and Aide, T. M. (2000). Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology*. 8: 350- 360.

## Capítulo V. Conclusión.



## **V. Conclusiones**

El desarrollo económico y crecimiento de las grandes urbes a nivel mundial, ha propiciado el deterioro de los ecosistemas nativos, modificando la estructura y su composición, esta fuerte presión sobre los ecosistemas naturales durante la última década se ha extendido a casi todas las comunidades vegetales de forma global y simultánea. Los mayores efectos se han concentrado en la pérdida de cubierta vegetal, tanto para conseguir nuevas tierras de cultivo, expansión demográfica, centros industriales, vías de comunicaciones y aprovechamientos productivos de recursos no renovables.

Específicamente las comunidades semiáridas constituyen un tercio de la superficie mundial y están localizadas en zonas climáticas extremas, en las que la productividad neta de la vegetación y su desarrollo está limitada por la disponibilidad de agua (Boisvenue y Running, 2006). Estas comunidades semiáridas se caracterizan por sus condiciones climatológicas extremas y por la reducida temporada de lluvias. Por otro lado, cuando estas precipitaciones se presentan lo hacen de manera intensa y de corta duración, lo cual propicia periodos de abundancia que sólo ciertos organismos adaptados a estas condiciones logran aprovechar (Thomas, 2011).

Estas características vuelven vulnerable el factor vegetacional existente en las zonas semiáridas, las cuales posterior a un evento de remoción total, sea por efecto antropogénico (Aprovechamientos y/o modificación del uso del suelo) y/o natural (Incendio), provocan modificaciones estructurales y de composición de especies vegetales, las cuales de manera natural es muy poco probable restituir las.

Una de las estrategias propuestas para la recuperación de estos ecosistemas es la rehabilitación, actividad que comúnmente es utilizada para recuperar la productividad de un área que ha sido aprovechada, en donde se cambia el uso y/o condición inicial del ecosistema. Las prácticas más comunes a nivel mundial son la

siembra de especies leñosas (Mata et al., 2010), plantación de especies leñosas, estabilización de taludes y las obras de retención del suelo (Myronidis et al., 2010). Se pueden realizar alguna de estas prácticas y/o todas en conjunto dependiendo de factores como del grado de afectación del área, la resiliencia del suelo y vegetación, recurso económico disponible, etc. (Molina et al., 2012). Para determinar el grado de eficiencia de estas prácticas es necesario evaluar periódicamente diferentes variables de los tratamientos, y compararlos con áreas afectadas sin restauración y/o sitios naturales sin afectación.

Los ecosistemas Matorral Desértico Microfilo (MDM), Matorral Desértico Rosetofilo (MDR) y el Matorral Submontano (MSM) son comunidades presentes en la zona donde se estableció la presente investigación, las cuales durante los últimos años se han visto modificadas y disminuidas en superficie, como resultado del desarrollo económico y crecimiento de las ciudades del norte del país. De esta manera se propuso la caracterización las mismas mediante muestreos dirigidos, para conocer la diversidad estructural y especies clave en cada uno de los ecosistemas, especies que pudieran ser utilizadas en los proceso de restauración y/o rehabilitación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tres ecosistemas semiáridos evaluados se manifestaron diferencias significativas en composición y estructura. De las tres comunidades el MDR es el que presenta mayor número de individuos por hectárea correspondientes en su mayoría a once especies de los géneros *Agave*, *Coryphanta*, *Echinocereus* y *Mammillaria*. El MDM fue el ecosistema que presento una mayor cobertura en dos estratos (Medio y Bajo) y el MSM presento una composición florística más compleja con 57 especies.

A medida que aumenta el grado altitudinal también aumenta la densidad de plantas. Sin embargo, es importante mencionar que las condiciones orográficas del valle de Santa Catarina propician una menor precipitación a mayor altura, por lo que existe una disminución altitudinal de la presencia del estrato medio

conformado por especies arbóreas y arbustivas y un aumento de la presencia de especies con rizomas o tallos leñosos, coriáceas y fibrosas que componen un estrato bajo a mayor altura, preferentemente dominado por la familia Agavaceae.

Los tres matorrales presentaron diferencias en la composición de especies, ya que en cada uno se registraron especies indicadoras como *Berberis trifoliolata* y *Prosopis glandulosa* en el MDM, *Acacia berlandieri*, y *Porlieria angustifolia* en el MSM, y *Agave lechuguilla* y *Acacia berlandieri* y *Jatropha dioica* en el MDR.

Debido a las características fisiográficas y altitudinales del área de estudio esta sirve de corredor entre la Planicie costera y el altiplano mexicano por lo que la distribución de algunas especies se presenta en los tres matorrales evaluados, representando casi la mitad del número de especies del área de estudio. En la parte baja del valle se presenta el MSM dominado por árboles de porte bajo, que al irse incrementando la altitud, las especies disminuyen su porte y aparecen las arbustivas que dominan el MDM, mismas que gradualmente se van mezclando con especies de forma de rosetas y crasuláceas características del MDR.

Las alteraciones sobre los ecosistemas naturales pueden ser asimiladas o restauradas de manera autónoma y eficaz por un ecosistema determinado, el cual retoma condiciones semejantes previo al disturbio (esta propiedad elástica se conoce como resiliencia). Resistencia y resiliencia son propiedades emergentes de los ecosistemas, sin embargo en ecosistemas semiáridos las condiciones extremas asemejan una barrera que limita el sitio afectado a recuperar su estructura, composición y funcionamiento de manera natural. De esta manera surge la necesidad de implementar actividades que provean las condiciones para que la restauración se presente de manera adecuada.

En muchos países la restitución las condiciones del ecosistema natural, es contemplada económicamente desde el inicio de las operaciones, con la finalidad de que esta actividad no se convierta en un pasivo ambiental, definición que de

acuerdo a la los Artículos 68, 69 y 70 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), la responsabilidad para la reparación del daño o las acciones de remediación de un sitio afectado es para los propietarios y los causantes del proceso que resulto en una afectación.

Por esta razón en la presente investigación se propuso la rehabilitación de una zona afectada por el aprovechamiento de caliza, en una cantera propiedad de una cementera ubicada en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila. En la cual se propuso la utilización de material vegetal nativo, resultado de una recuperación y/o rescate de especies previo a las acciones operativas,

Con base a la información obtenida en la caracterización y análisis de los ecosistemas semiáridos, las especies utilizadas en las labores rehabilitación, fueron las consideradas como las de mayor importancia, pertenecientes en su mayoría los géneros agave y opuntia. Previo a la plantación de los individuos, se realizaron obras de conservación de suelo, que en conjunto proveen condiciones óptimas para la captación de humedad, retención de suelo y el establecimiento de otras especies secundarias, las cuales incrementaron la biodiversidad vegetal del sitio afectado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que las actividades realizadas de manera conjunta favorecen la rehabilitación de un ecosistema natural posterior a una afectación por aprovechamiento a cielo abierto de materiales, en donde a los ocho años de establecidas podemos observar una incremento en la diversidad de especies básicamente de las familias Asteraceae y Euphorbiaceae, lo que propicia condiciones óptimas para la protección del suelo y la formación de microambientes para el establecimiento de especies primarias de las familias Fabaceae y Zygophyllaceae, entre otras.

Considerando lo antes expuesto se concluye que las acciones desarrolladas en la presente investigación favorecieron el restablecimiento incipiente de los

componentes básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), los cuales son necesarios para proveer de servicios ambientales (hábitat y alimento para fauna y retención del suelo, entre otros), en ecosistemas semiáridos afectados por el aprovechamiento de materiales comprobando ambas hipótesis planteadas en nuestra investigación.

### **V.1. Retos de la rehabilitación de ecosistemas en el noreste de México.**

De manera específica la riqueza natural existente en los ecosistemas de las zonas semiáridas, es de vital importancia para la regulación de los ciclos biológicos naturales, agua, biodiversidad, suelo, entre otros, sin embargo también estas zonas representan los mayores bancos de materiales necesarios para el desarrollo económico del país, debido a su origen geológico, sin embargo ambos factores deben ser considerados como parte integral dentro de la proyección económica para una eficiente cadena productiva, considerando los factores técnico - económico, ambiental y social.

La recuperación de los ecosistemas es un tema complejo que no solamente se enfoca a la pérdida de la diversidad biológica, paisajes nativos y la funcionalidad de los ecosistemas que aún permanecen. En México los ecosistemas alterados representan más de la mitad del territorio nacional (Sánchez, G, et al, 2003). Desde esta perspectiva en el tema de la restauración ecológica: podemos tener plena certeza científica de que los ecosistemas no se encuentran en estados estáticos de equilibrio, sino en flujo, con etapas sucesivas (Fowler et al., 2003), unas de cambio drástico y otras de cambios paulatinos. Esto implica que ciertos tipos de disturbios en los ecosistemas, forman parte de la dinámica normal de éstos (Pickett y White, 1985).

Es por ello que es necesario el planteamiento de planes de rehabilitación, con base en una caracterización de las condiciones bióticas y abióticas del sitio afectado, para el establecimiento de una línea base metodológica, que nos pueda



indicar las especies clave primarias del ecosistema y las condiciones abióticas que pudieran acelerar la respuesta del ecosistema a las prácticas de rehabilitación y/o restauración.

## **V.2. Literatura Citada**

- Sánchez-González A. y Granados-Sánchez D. 2003. Ordenación de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de gradientes ambientales. *TERRA Latinoamericana* 21(3):311-319.
- Fowler, C. S., P. Esteves, G. Goad, B. Helmer y K. Watterson. 2003. Caring for the Trees: Restoring Timbisha Shoshone Land Management Practices in Death Valley National Park. *Ecological Restoration* 21(4):302-306.
- Pickett, S.T.A. y P.S. White (eds.). 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, EE.UU.